المنظمة العربية للترجمة

توماس س. كُون

بُنيَة
الثورات العلمية

ترجمة

د. حيدر حاج اسماعيل

بدعم من صندوق الأوبك للتنمية العالمية



توزيع: مركز دراسات الوحدة العربية

بُنيَة الثورات العلمية

المنظمة العربية للترجمة

توماس س. كُون

بُنيَة
الثورات العلمية

ترجمة

د. حيدر حاج اسماعيل

مراجعة

د. محمد دبس

الفهرسة أثناء النشر - إعداد المنظمة العربية للترجمة
كُون، توماس س.
بُنيَة الثورات العلمية/توماس س. كُون؛ ترجمة حيدر حاج اسماعيل؛ مراجعة محمد دبس.
389 ص. - (علوم إنسانية واجتماعية)
ببليوغرافية: ص 361 - 374.
يشتمل على فهرس.
ISBN 978-9953-0-0962-9
1. العلوم - تاريخ. 2. العلوم - فلسفة. أ. العنوان. ب. حاج اسماعيل، حيدر (مترجم). ج. دبس، محمد (مراجع). د. السلسلة.
501.20

Kuhn, Thomas S.
The Structure of Scientific Revolution, 3rd ed.

المنظمة العربية للترجمة
بناية «بيت النهضة»، شارع البصرة، ص. ب: 5996 - 113
الحمراء - بيروت 2090 1103 - لبنان
هاتف: 753031 (9611) / فاكس: 753032 (9611)
e-mail: info@aot.org.lb - http://www.aot.org.lb
«يصدر هذا الكتاب بدعم من صندوق الأوبك للتنمية العالمية،
مع شكرٍ خاص لمديره العام السيد سليمان الحربش».

توزيع: **مركز دراسات الوحدة العربية**
بناية «بيت النهضة»، شارع البصرة، ص. ب: 6001 - 113
الحمراء - بيروت 2407 2034 - لبنان
تلفون: 750084 - 750085 - 750086 (9611)
برقياً: «مرعربي» - بيروت / فاكس: 750088 (9611)
e-mail: info@caus.org.lb - Web Site: http://www.caus.org.lb

الطبعة الأولى: بيروت، أيلول (سبتمبر) 2007

المحتويات

مقدمـــة المترجـــم

أفضل تعريف بالكتاب وبصاحبه هو، وبكل بساطة، قراءته. ولا أعتقد أن شيئاً آخر يمكن أن يغني عن ذلك، وذلك لسببين، على الأقل؛ **الأول** أن الكتاب هو الأصل؛ والسبب **الثاني** هو في القول إن لا براءة في القراءة[1].

مع ذلك، سنحاول القراءة. ولكي لا يكون ذنبنا كبيراً، سنعتمد على المنهج السوسيولوجي الذي اعتمده ت. كُون (T. Kuhn) نفسه، وبخاصة على أداة تحليله الأساسية، ألا وهي «المتحد الاجتماعي» الذي عنى به، وتحديداً، متحد العلماء، أو متَّحد المهنيين كما يحب أن يقول أحياناً.

ولتحقيق ذلك، سنقوم بإنشاء متحد هو افتراضي جزئياً وواقعي أيضاً، من زملاء له وبعضهم كان أصدقاء، عايشوه وعايشهم، وعرفوه وعرفهم، وذكروه وذكرهم في كتابه وجمعهم به كما جمعه بهم حقل معرفي واحد، في رأينا، ألا وهو العلم معنىً وتطوراً.

---

(1) Louis Althusser and Etienne Balibar, *Reading Capital*, Translated by Ben Brewster (London: NLB, 1975), p. 14.

وهؤلاء هم برتراند رسّل (B. Russell)، وكارل بوبر (K. Popper) الذي جاء على ذكره في الكتاب أكثر من مرة، وصديقه بول فايرابند (P. Feyerabend) الذي نوَّه به في مقدمة الكتاب، ونضيف إليهم آلان فرانسيس تشالمرز (A. F. Chalmers) الاسترالي الراديكالي المتأثر بفايرابند.

ونحن نفعل ذلك، لأن كُون رفض النظر إلى العلم وإبداعاته وتطوره من وجهة نظر فردية. فهو اعتقد أن تاريخ العلم لا يمكن فهمه وشرحه إلا بفضل المتحدات العلمية وبراديغماتها[2]. ومن هنا، نحن لا نقدر أن ننسب ما صنعت يدا كُون إليه وحده، وفي حد ذاته، وبصورة حصرية. لقد كان كُون عضواً، بالمعنى الافتراضي - الواقعي الذي ذكرت في مُتَّحد من الاختصاصيين الذين واجهوا وتعاركوا مع المشكلة ذاتها، نعني مشكلة العلم التراكمي القائم على عقيدة الاستقراء التي تفيد بأن للطبيعة نظاماً ثابتاً لا يتغير. والبداية التي كانت بمثابة الزلزال المدمِّر حصلت مع الفيلسوف البريطاني ديفيد هيوم (David Hume)، وبعدها تتابعت المواقف حتى بلغت موقف كُون نفسه. ونبدأ، مباشرة، بتعداد ليسيّات وجهة نظر كُون، فنقول:

---

(2) تجدر الإشارة إلى أننا فضلنا أن نترجم المصطلح الأساسي عند كُون، نعني Paradigm بـ «براديغم» مستبقينه كما هو وذلك لتشتّت الترجمات العربية له، وكنا في عملنا هذا مستفيدين من هامش وضعه الدكتور الطاهر لبيب لبحثه الذي حمل عنوان: «هل الديمقراطية مطلب اجتماعي؟ علاقة المشروع الديمقراطي بالمجتمع المدني العربي» وقد ذكر في حينه الترجمات التالية لذلك المصطلح: جريدة، استبدال، جذوري، نموذج، ومثال. انظر: الطاهر لبيب، «هل الديمقراطية مطلب اجتماعي؟ علاقة المشروع الديمقراطي بالمجتمع المدني العربي،» ورقة قدمت إلى: **المجتمع المدني في الوطن العربي ودوره في تحقيق الديمقراطية: بحوث ومناقشات الندوة الفكرية التي نظمها مركز دراسات الوحدة العربية** (بيروت: المركز، 1992)، ص 339.

1 ـ هي ليست فردية. ونسجل، هنا، لكُون تقدماً في مجال التفكير الغربي (الأوروبي والأمريكي) الذي اعتبر ولا يزال يعتبر الفرد مبدأ النظر والعمل. وكانت الثقافة الفردية قد تأسست على كتابات ج. لوك (J. Locke) (ومعه ت. هوبز(T. Hobbes)) عن العقد الاجتماعي الذي بدا فيه الفرد صانعاً للمجتمع المدني وللدولة.

2 ـ وهي ليست واقعية على نحوٍ مطلق. فالطبيعة (أو الكَوْن) ليست المرجع الأخير والمطلق الذي بالنسبة إليها، وحدها، تقاس الأمور والنظريات.

3 ـ وهي ليست تراكمية. فالعلم ليس خطاً متصلاً مؤلفاً من مراحل وأجزاء وإنجازات لا انقطاع بينها. وبكلمة أخرى، ليس العلم نظاماً تراكمياً من المعارف الجزئية كما هو الرأسمال.

أما على صعيد الأيسيّات، فيمكن أن نذكر ما يلي:

1 ـ الأيسية الأولى سوسيولوجية، كما سبق أن ذكرنا، وبالمعنى الذي ذكرنا، فهي تفيد أن العلم لا يقوم ولا يتغيّر بواسطة فرد بحد ذاته، بل بواسطة متّحد من العلماء، أي مجموعة من العلماء مشتركين بتقاليد وقواعد واحدة مستمدة من نظرة واحدة إلى العالم.

2 ـ والأيسية الثانية تقول إن بداية التغيير في العلم تكون بحصول نظرة جديدة إلى العالم.

3 ـ والأيسية الثالثة لوجهة نظر كُون أنها ثورية. أي أنها ترى العلم وتطوره على صورة ثورات نوعية متلاحقة، وكل ثورة لها نموذجها ـ البراديغم الخاص المستمد من نظرة جديدة إلى العالم، والمتجسّد في الحقل المعرفي لمتَّحد العلماء أو المهنيين.

وتجدر الملاحظة إلى أن هذا الوصف لتطور العلم، بالإضافة

إلى مشابهته، وبمقدار، للمذهب الداروينى (Darwin) الذي كان قد أشار إليه كُون في حاشية الكتاب، هو مشابه، وبدرجة أكبر لنظرة ماركس المادية التاريخية، حيث يبدو فيها التاريخ كله عبارة عن ثورات (صراعات طبقية) متلاحقة ذات أنماط إنتاج مختلفة. ونحن نذكر هذه الملاحظة مستفيدين من الغرام القوي عند كُون بالمتشابهات.

4 ـ وهي تاريخية تؤكد وجود أزمات في النشاط العلمي على غرار ما يحصل في العمل الاجتماعي ـ السياسي. والأزمة تحدث عندما يفاجأ العاملون في الحقل المعرفي بظاهرة غير متوقع ظهورها ولا يقدر العمل العادي أن يشرحها. هنا، يحصل انقسام المتّحد إلى فئتين: واحدة تظل متشبثة بالبراديغم القائم، وأخرى، وغالباً ما تكون من العلماء الشبان، تتحول إلى نظرة جديدة فبراديغم جديد، ويكون الحاصل ثورة علمية.

5 ـ وهي تحدد «العلم العادي» بأنه العلم المؤلف من قواعد وقوانين وقيم وأدوات جاء بها البراديغم، أصلاً، لكنها صارت تقاليد ثابتة تقاوم التغيير.

نقد العلم الاستقرائي التراكمي

1 ـ مقدمة تاريخية ـ فلسفية:

في أكثر من موضع في كتاباته يلقي ديفيد هيوم (1711 ـ 1776) ظلاً ثقيلاً من الشك على أساس العلم والمنهج العلمي (الاستقراء (Induction))، وبالتالي على ما يسمى بالتفكير الموضوعي والعقل العلمي. فمن منطلق مذهبه التجريبي ـ الحسي (Empiricism) الذي مبدؤه الحواس، وحدها، سبيل المعرفة، ينقضّ هيوم على منهج

الاستقراء المعتمد في العلوم ويدمّره تدميراً. فما هو ذلك المنهج الذي صار ركاماً، أو نقول، أثراً بعد عين؟

منهج الاستقراء يفيد «أن الظواهر التي لم نختبرها بعد يجب أن تشابه الظواهر التي اختبرناها، وأن مجرى الطبيعة سيستمر كما هو بانتظام دائم»[3]. معنى ذلك أن في الطبيعة نظاماً لا يتبدل، وأن المستقبل هو، تماماً ودائماً، كالماضي. وبلغة السببية يفيد التعريف الهيومي أن العقيدة التي تفيد أن الأسباب ذاتها تنتج النتائج ذاتها، إن هي إلا عقيدة فاسدة، فليس في الواقع علاقة مثل تلك العلاقة يمكن الإحساس بها، كما أن المنطق يعجز عن البرهان على وجودها، لأن البرهان على وجود نظام في الطبيعة يفترض أن تكون إحدى مقدماته مفيدة وجود النظام! على سبيل المثال، إذا أردنا أن نبرهن صحة القضية العلمية التالية: كل المعادن تتمدد بالحرارة (دائماً) علينا أن نضع ما يلي:

بما أن المعادن التي اختبرناها تمددت بالحرارة

وبما أن المستقبل مثل الماضي (الطبيعة لا تتغير)

إذاً المعادن سوف تتمدد بالحرارة دائماً!

وهذا استدلال منطقي دائري (Circular) فاسد، (أو حلقة مفرغة) لأن نتيجته المطلوب إثباتها مفترضة في إحدى المقدِّمات.

خلاصة كلامنا هي أن القوانين العلمية مثل: قانون الكهرباء V(Volts) = R(Ohms) x I (Amperes) وقانون سقوط الأجسام (d(meters) = ½g(9.8)(meters) x t^2 (seconds) وغيرهما هي قوانين ليست بذات أساس مكين.

---

(3) David Hume, *An Enquiry Concerning Human Understanding*, Bk. 1, Pt. iii, Sec. iv.

وفي تاريخ فلسفة العلوم جرت محاولات لإنقاذ مبدأ السببية والمنهج العلمي، وبالتالي مصير العلم بالذات، نذكر من أهمها المحاولتين التاليتين: محاولة الفيلسوف الألماني إيمانويل كانط (Emmanuel Kant) الذي، بعد أن أيقظته من «سباته العميق»، ضربات مطرقة هيوم الساقطة على أساس العلم، ادعى أن مبدأ السببية ليس موجوداً في الواقع الحسي، وإنما هو في العقل النظري (Pure Reason)! إذاً، مبدأ السببية، وفقاً لكانط، ليس معطى حسياً (وفي هذه الدعوى كان هيوم محقّاً) لكنه مقولة عقلية فارغة وظيفتها تنظيم الإحساسات الوافدة من الخارج.

محاولة كانط، في جوهرها، إن هي إلا انتقال من عقيدة الواقعية ـ الحسية (حيث افترض وجود نظام علاقات في الطبيعة) إلى عقيدة جديدة هي عقيدة المثالية المتجاوزة للواقع (Transcendental Idealism)! وهكذا ظل أساس العلم عقائدياً مقرراً من إرادات الفلاسفة. والحقيقة أن العقيدة الكانطية أخطر بكثير من كونها قراراً إرادياً لفيلسوف كان متأثراً بظروف زمانه ومكانه. إنها العقيدة التي جعلت العلم نوعاً من الإنتاج. فالعالِم (بكسر اللام) صانع العالَم (بفتح اللام). العلم لم يعد معرفة الواقع (الأشياء في ذاتها) بل صار معرفة لظواهر الأشياء بعد تنظيمها بمقولات العقل النظري وأهمها مقولة السببية، أي بعد خلقها خلقاً جديداً عن طريق وضعها في نظام العقل النظري. استناداً إلى ذلك، نحن لا نعرف العالم كما هو، بل كما نريد. أجل، نحن لا نعرف العالم في ذاته بل نعرف عالمنا!

المحاولة الثانية لإنقاذ العلم تمت على يد ف. ل. وِلّ (F. L. Will). وهذا جوهرها، يقول: إن الحدّ بين الماضي والمستقبل ليس ثابتاً بل هو متحرك دائماً. وكل يوم ينقضي يحمل معه إثباتاً لقوانين العلوم. وقد ردّ الفيلسوف البريطاني برتراند رسل بقوله: اليوم الذي

انقضى يمكن تسميته بالمستقبل الماضي (Past Future)، لكن يظل هناك المستقبل المستقبل (Future Future) الذي لم نختبره بعد[4]!

واضح أن هاتين المحاولتين الهادفتين إنقاذ العلم كانتا مخيبتين للأمل. وقد عبّر عن تلك الحالة اثنان من فلاسفة العلوم هما: ماكس بلاك (Max Black) وهـ. رايخنباخ (H. Reichenbach). الأول، بعد أن يئس من إمكانية البرهان الواضح الثابت على صحة أساس العلم (مبدأ السببية أو نظام الطبيعة)، رأى أن تُصنف «مشكلة الاستقراء» العلمية في عداد المشكلات العاصية على الحلّ مثل تربيع الدائرة واختراع آلات دائمة الحركة[5]! أما الفيلسوف الثاني رايخنباخ، الذي توصف فلسفته العلمية بالعملانية (Operationism)، فقد رأى أن العلم، بخاصة الفيزياء، لا يجوز وصف معارفه بأنها صادقة (true) أو كاذبة (false)، ذلك لأن العلم يقوم على مبادئ وإنشاءات مثالية (فكرية) تفرض على الطبيعة بهدف السيطرة عليها، تماماً مثلما ننشئ شبكة من الإحداثيات (Coordinates) ونفرضها (أو نلقيها) على الكرة الأرضية بهدف توجيه أنفسنا عليها[6]. ويقدم رايخنباخ المماثلة التالية لشرح رأيه، قائلاً: «الأعمى الذي ضلّ الطريق في الجبال ليس عليه إلا أن يستشعر طريقه بعصاه. فهو لا يعرف إلى أين سيؤدي به المسار، كما أنه لا يعرف فيما إذا كان سيهوي به الطريق من على صخرة ذات منحدر سحيق. وبالرغم من كل ذلك، ليس عليه إلا أن

(4) Paul Edwards and Arthur Pap, eds., *A Modern Introduction to Philosophy; Readings from Classical and Contemporary Sources*, Free Press Textbooks in Philosophy, 3rd ed. (New York: Free Press, [1972]), pp. 151-152.

(5) المصدر نفسه، ص 141.

(6) Kurt Hübner, *Critique of Scientific Reason*, Translated by Paul R. Dixon and Hollis M. Dixon (Chicago: University of Chicago Press, 1983), p. 13.

يتابع السير مستشعراً طريقه خطوة خطوة بعصاه. فليس أمامه سوى ذلك السبيل». ثم يتابع رايخنباخ، فيقول: «تماماً مثل ذلك الأعمى نقف نحن أمام المستقبل». أما عصانا فليست سوى ما نصنع من مبادئ وننشئ من أفكار ونظريات[7].

جوهر كلام رايخنباخ هو أننا نفترض وجود قوانين طبيعية لأننا نريد أن نقوم بعمليات. وهي هذه الرغبة في عمل شيء، التي تتطلب منا افتراض وإنشاء أفكار منها المبادئ والنظريات العلمية. بكلمة أخرى، إن نشوء وتطور العلم قاما ويقومان على عمل من أعمال الإرادة الإنسانية، إرادة السيطرة الدائمة على طبيعة ثابتة.

وقد استمر الفلاسفة بنقد أساس العلم ومنهجه. ونذكر من أشهرهم كارل بوبر وماكس فيبر (Max Weber)، (وهناك آخرون، أنظر الهوامش). يقول بوبر، إنه جرت العادة على تسمية الانتقال من القضايا الجزئية (Singular Statements) (التي تصف نتائج الملاحظات والتجارب التي يقوم بها العلماء) إلى قضايا كلية (Universal Statements) بأنه استدلال استقرائي. ويعقب فوراً قائلاً: «لكن ذلك أبعد ما يكون عن الوضوح، من وجهة نظر منطقية. فليس هناك ما يسوغ استدلال قضايا كلية من قضايا جزئية مهما كان عددها. لأن أي نتيجة مستدلة بحسب ذلك المنوال، يمكن أن ينتهي بها الأمر دائماً لتكون خاطئة. ومهما كان عدد الحالات التي نلاحظ فيها أوزاً أبيض فإن ذلك كله لا يسوّغ الاستنتاج بأن الأوز، كله، أبيض»[8].

إشكالية تسويغ الاستدلال الاستقرائي هي ما صار يعرف

---

(7) المصدر نفسه، ص 7-8.

(8) Karl R. Popper, *The Logic of Scientific Discovery* (London; New York: Routledge, 1992), p. 27.

بإشكالية الاستقراء. ويمكن صياغة هذه الإشكالية بالقول، إنها مختصة بالشك بصواب (Validity) القضايا الكلية المبنية على التجربة، مثل فرضيات العلوم التجريبية (Empirical Sciences) وأنظمتها النظرية. وبعد نقده ورفضه منهج الاستقراء، يضع بوبر منهجاً جديداً يسميه: منهج الفحص الاستدلالي (The Deductive Method of Testing). ومفاده المختصر، هو أن الفرضية يمكن فحصها تجريبياً فقط، وفقط بعد وضعها. وهذا المنهج يمكن تسميته المذهب الاستدلالي (Deductivism) في مقابل المذهب الآخر الذي هو المذهب الاستقرائي[9] (Inductivism).

وبعد أن يتوسع بوبر في شرح مذهبه الجديد في منطق العلوم، يعود ليحسم موقفه من المذهب الآخر قائلاً، وبصورة قاطعة: «والآن، في نظري، لا يوجد شيء اسمه استقراء[10]!» عانياً، طبعاً، الاستقراء في العلوم الطبيعية.

ويعطي بوبر هذا المنهج اسماً آخر في مقابل ما عرف بمنهج الوضعيين المنطقيين الذي يعرف معنى القضية (A Statement) بإمكانية التحقق (Verifiability) من صدقها تجريبياً، وهو اسم: إمكانية تكذيب القضية أو التحقق من عدم صدقها (Falsifiability) بالفحص[11].

أما فيبر، فيقول في مقالة حملت عنوان: «العلم من حيث هو مهنة» (Science as Vocation)، مستشهداً بفريدريخ نيتشه (F. Nietzsche) الذي كان قد وجه نقداً صاعقاً لمن أسماهم «رجال آخر

---

(9) المصدر نفسه، ص 28.

(10) المصدر نفسه، ص 30.

(11) المصدر نفسه، ص 40.

الزمان» (Last Men) الذين «اخترعوا» ما يسمى «بالسعادة»، بالقول: «يمكنني أن أضع جانباً بالكلية التفاؤل الساذج الذي احتفى به العلم كطريق إلى السعادة ـ العلم بمعنى آلية (Technique) السيطرة على الحياة المستندة إلى العلم». ثم يتابع فيقول مستهجناً: «من يعتقد بمثل هذا الكلام، غير عدد من الأطفال الكبار في الكراسي الجامعية أو في مكاتب التحرير؟»، عانياً أساتذة الجامعات ومحرري الصحف والمجلات[12].

ويشير فيبر في المقالة نفسها إلى عجز العلم عن تقديم معنى للعالم. فالسؤال: ما معنى العالم؟ بالإضافة إلى السؤال: ما هو الطريق إلى الله؟ لا جواب عليهما في العلوم، بخاصة العلوم الطبيعية، إلا عند من يسميهم «الأطفال الكبار» في ميدان تلك العلوم، عانياً الذين تجاوزوا حدود المعرفة العلمية. ويضرب على ذلك قول سوامردام (Swammerdam): «ها أنذا أقدم لكم البرهان على حكمة الله وعنايته وحسن تدبيره في تشريح قملة»[13]! ويتساءل باستهجان: «العلم هو طريق إلى الله؟» ثم يجيب بصورة مستنكرة قائلاً: «العلم، هذه القدرة هي على وجه التحديد، قدرة لا دينية». ثم يضيف قائلاً، لا أحد يشك بحقيقة لا دينية العلم. حتى لو لم يقر بذلك[14].

كل العمل العلمي يفترض أن قواعد المنطق والمنهج صحيحة. ويفترض أن نتائج العلم مهمة، بمعنى أنها تستحق المعرفة فهي ذات

---

(12) Max Weber, *From Max Weber: Essays in Sociology*, Translated and Edited by H. H. Gerth and C. Wright Mills (London: Routledge; Kegan Paul, 1947), p. 143.

(13) المصدر نفسه، ص 142.

(14) المصدر نفسه، ص 142.

قيمة، علماً بأن هذا الافتراض لا يمكن إثباته بوسائل العلم. جلّ ما نستطيع عمله تفسيري، أي إننا نفسر الافتراض بإسناده إلى معناه الأخير الذي قد نقبله أو نرفضه وفقاً لموقفنا النهائي من الحياة. على سبيل المثال، إن سؤالاً كهذا: هل الحياة تستحق العيش؟ ومتى؟ لا يطرح في دائرة العلوم الطبيعية. والعلم الطبيعي يقدم لنا جواباً واحداً ألا وهو: ماذا يجب علينا أن نفعل إذا رغبنا في السيطرة على الحياة تقنياً[15]. ويضيف من الأمثلة على عجز العلوم قوله: «أنا لا أعرف كيف يمكن لامرئ أن يرغب في اتخاذ قرار «علمي» في قيمة الثقافة الفرنسية والألمانية، وفي الثقافتين يوجد آلهة متباينة تتصارع، الآن، وفي كل زمن آتٍ»[16].

ثم هناك الفيلسوف بول فايرابند الذي أحدثت كتاباته ضجة مثل صديقه وزميله توماس كُون. فايرابند هو أحد الثوار في ميدان تاريخ العلوم. وثوريته مؤسسة على أطروحة عرفت باسم «عدم إمكان المقارنة» (Thesis of Incommensurability) التي عنى بها أن نظريتين علميتين يستحيل مقارنتهما، فهما تتصفان بالانفصال المنطقي. هذه الأطروحة هي بمثابة حرب على الاتجاه العلمي السائد الذي عرف باسم «الواقعية العلمية» (Scientific Realism)، والذي يقوم على مبدأ وجود حقائق خارجية (References) (موضوعية) تشكل المرجعية الثابتة لمقارنة النظريات. وبعض أنصار هذا الاتجاه في التفكير العلمي يذهبون إلى حد اعتبار «العناصر» غير الملاحظة مثل الذرّة والإلكترون وغيرهما من الدقائق ذات وجود بالفعل.

وأفضل طريقة لفهم فكرة فايرابند هي في النظر في كتابه: **ضد**

(15) المصدر نفسه، ص 143.

(16) المصدر نفسه، ص 144.

المنهج (*Against Method*)، بخاصة عندما يعرض بالتحليل، «لحالة غاليليو» (Galileo's Case)، العالم الإيطالي الذي كان أحد مؤسسي علم الفيزياء، مثل البريطاني إسحاق نيوتن (I. Newton). وقد انتهى فايرابند من درسه تلك الحالة إلى تبيان أن غاليليو جاء بنظرة علمية جديدة إلى الكون تختلف كل الاختلاف عن النظرة الأرسططاليسية، فلا يمكن مقارنتهما(17).

ولتقريب الأفهام من موقف فايرابند، نذكّر بما قلناه عند كلامنا على كانط. قال كانط، إن مبادئ العقل أو مقولاته تؤثر في المعطيات الحسية التي ترد من الخارج إذ تعمل على تنظيمها. لكن فايرابند يرى أن العالم الخارجي وأشياءه تفهم نسبة لنظرتنا إليه، وليست نظرتنا تفهم نسبة إلى عالمنا الخارجي. فالنظرة أو النظرية أو الأفكار العلمية وليست أشياء العالم الخارجي هي المرجعية، وهي المضاف إليه وكل ما عداها مضاف.

نخلص مما تقدم إلى النتائج التالية وهي:

أولاً: إن أساس العلم ليس أساساً ثابتاً لأن مبدأه الإرادة الإنسانية، وقرار الإرادة الإنسانية قرارات بعدد الفلاسفة.

ثانياً: ولما كانت الإرادة والمصلحة متلازمتين، إذ الإرادة إرادة لتحقيق مصلحة، إذاً أساس العلم هو المصلحة الإنسانية.

ثالثاً: أما وقد فقد العلم أساسه الثابت في الطبيعة وصار تابعاً لقرارات الإرادة الإنسانية ومصالحها، فهو صار، مثل كل أيديولوجيا تصدر عن الإرادات، نوعاً من الأيديولوجيا. أو نقول، وبلغة كُون،

---

(17) Paul Feyerabend, *Against Method* (London; New York: Verso, 1980), p. 89.

العلم ثوراته، وثوراته متَّحدية ـ اجتماعية.

2 ـ دفاع رسل عن العلم الاستقرائي التراكمي:

الاستقراء مشكلة فلسفية من طراز ممتاز، كما مرّ معنا، وقضيته تشكل جوهر العلم التراكمي لأنه يفترض للطبيعة نظاماً لا يتغير، وظواهر العلّية الماضية ستتكرر هي هي في المستقبل، فلا يبقى من معنى للعلم وتطوره إلا معنى تراكم أجزاء من المعرفة فوق أجزاء. وهذه المشكلة لا تزال قائمة بالرغم من المحاولات الكثيرة الجادّة لحلها من قبل فلاسفة العلوم والمنطق حتى الآن، ومن بينهم نذكر، الآن، وبالإضافة إلى من ذكرنا، الفيلسوف البريطاني برتراند رسل.

لنقدم فكرة عن مبلغ العناء الذي عاناه رسل، ولستين عاماً، لحل هذه المشكلة، التي رافقت حياته الفلسفية، وما استطاع لها حلاً حاسماً. لكنه ظل متمسكاً بالاستقراء لأهميته في كل من الإدراك العام والعلم وليس لأنه يمكن إثباته بالعقل المنطقي أو بالتجربة[18].

فالمعرفة العلمية، في رأيه، تقوم على مبدأ السببية (العلّية). وحياة الناس كلها استقراء في استقراء. والحق، أن معظم ممارساتنا اليومية العملية تستحيل من دون الاستقراء. فنحن نشتري، اليوم، الخبز ذاته من المحل التجاري ذاته ونأكله، لأننا نعتقد أنه مثل الخبز الذي اشتريناه وأكلناه في الأمس. ونحن نركب السيارة نفسها من دون أن نخشى شيئاً، لأن قيادتها سليمة مثل الماضي. وهكذا.

لكن توقعاتنا قد تخيب: فبروتس (الصديق الصدوق ليوليوس قيصر)، كان بين المتآمرين (عصبة كاسيوس) الذين انهالوا بالطعنات

---

(18) المصدر نفسه، ص 284، و Paul Feyerabend, «Marxist Fairytales from Australia,» *Inquiry*, vol. 20 (1977), note 9.

على قيصر روما بعد عودته من النصر ضد غزاة الشمال. وقد كتب شكسبير في روايته: **يوليوس قيصر** واصفاً ببلاغة، ذهول وصدمة القيصر، الذي عندما شاهد وجه صديقه، قال: «حتى أنت يا بروتس»!

وهناك مثل من التاريخ الحديث، وملخصه أن الدولة الأمريكية، وبفضل الاستقراء، اعتقدت إدارتها أنها دولة الانتصار الأبدي. لكنها في فييتنام جرّت أذيال الهزيمة!

مع ذلك، وبالرغم من ذلك، أدرك رسل، الحقيقة التالية، ألا وهي: «لا مفر من العمل بالاستقراء، في الحياة العملية وفي العلم».

رَسِل والعلِّيَّة

كنا قد ذكرنا محاولة كانط الإنقاذية لمبدأ العلية (السببية) (Causality)، لاعتقاده بأنه أساس كل معرفة. والحق أن هذا الاعتقاد كان شيمة الفلسفة التقليدية عموماً واليونانية بخاصة. فقد عرّف أرسطو المعرفة بأنها المعرفة بالأسباب. وانتقد أسلافه لأن بعضهم قصر الأسباب على سبب واحد مادي عند ديمقريتس (Democritus)، صوري (عقلي) عند معلمه أفلاطون. ذلك لأنه رأى أن أسباب الشيء، أي شيء، أربعة، هي: السبب المادي، والسبب الصوري، والسبب الفاعل، والسبب الغائي. فلكي نعرف التمثال، على سبيل المثال، علينا أن نلم بعلله الأربع:

1 ـ العلة المادية: أي المادة التي صنع منها التمثال مثل الحجر، أو الخشب، أو المعدن.

2 ـ العلة الصورية: أي شكل التمثال أو تصميمه.

3 ـ العلة الفاعلة: أي صانعه، النحات أو غيره.

4 ـ العلة الغائية: أي الغرض من صنعه، كتزيين ساحة مدينة أو تكريم شخص.

كما عرّف أرسطو الفلسفة الأولى (الميتافيزيقيا) بأنها العلم بالمبادئ أو الأسباب الأولى للأشياء.

نذكر كل ذلك، لكي نقول، إن رَسِل، وهو تلميذ المدرسة التجريبية الحسية (Empiricism) والمنتمي إلى مذهب «الواقعية الحديثة»، والذي يعتبر الخبرة بواسطة الحواس مصدر المعرفة، رفض العلّية كمبدأ ميتافيزيقي. ومع تطور العلم رفض التوحيد بين العلّية والحتمية، كما سنشرح لاحقاً.

في أول مؤلفاته **مبادئ الرياضيات** (*The Principles of Mathematics*) (1903) يعرّف رسل العلّية بقوله: إنها «ذلك المبدأ الذي بمقتضاه يمكن استنتاج حادثة أو أكثر في لحظة جديدة أو أكثر، من عدد كافٍ من الحوادث، عند عدد كاف من اللحظات»[19].

وقد جاء هذا التعريف منفعلاً بمستوى علم الفيزياء (علم الديناميكا (Dynamics)) وقوانين نيوتن في الحركة، مثل قانون العطالة (Intertia) الذي مفاده أن الجسم الساكن يظل ساكناً والمتحرك يظلّ متحركاً ما لم يتعرض لقوة خارجية تغير حاله، أي إن الجسم، في الطبيعة، عاطل، من ذاته، عن الحركة والسكون. ومثل قانون القوة: القوة = الكتلة x التسارع. وصيغته الرمزية الرياضية: ق = ك. ت، والذي مؤداه أنه إذا أطبقت قوة خارجية ثابتة ق على جسم كتلته ك، فإنها تجعله يتحرك بتسارع ت (زيادة في السرعة أو نقصان فيها).

---

(19) برتراند رسل، **أصول الرياضيات**، ترجمة محمد مرسي أحمد وأحمد فؤاد الأهواني، 4 ج (القاهرة: دار المعارف، 1964)، ج 4، ص 163.

وفي كتابه **مشكلات الفلسفة** (*Problems of Philosophy*) (1912) طوّر رسل موقفه بعض الشيء، بالنسبة إلى العلّية، عندما راح يبرز مفهوم الاستقراء. يقول، مما يقوله في هذا الصدد: «إن قوانين العلم العامة، كالاعتقاد بحكم القانون، والاعتقاد بأن كل حادثة لا بد أن يكون لها علة، تعتمد كل الاعتماد، على مبدأ الاستقراء...»[20].

وتجدر الإشارة إلى أن هيزنبرج (Heisenberg) هو الذي قال بمبدأ اللاتعيّن. ولقد أشاع مبدأ اللاحتمية ومبدأ اللاتعين اللذان رافقا النظرية النسبية ونظرية الكم مقداراً من الخوف في الأوساط العلمية والفلسفية، حتى إن البعض خال الأمر نهاية للمعرفة في بحر الفوضى والتشتت. غير أن ما حصل فعلاً كان مختلفاً. فقد فهم اللاتعين بلغة جديدة هي التحديد التقريبي أو الاحتمالي (بمفهومه الإحصائي) للظاهرة المدروسة. وكان هذا ما فهمه رسل. وواضح أن في هذا المفهوم تطوراً جدياً وجديداً لديه.

لكن المسألة لم تنته بمجرد تطور رأي أحد فلاسفة العلم والمنطق حتى لو كان من طراز رسل. فقد أحدث الانتقال في عالم الفيزياء من علم فيزياء المقادير الكبيرة (Macro-Physics) إلى علم فيزياء المقادير الدقيقة (Micro-Physics)، أي علم الذرّة وعناصرها غير المنظورة (Invisible)، انقلاباً، بل ثورة في المفاهيم عموماً وفي المفاهيم العلمية بوجه خاص.

مصادرات البحث العلمي الخمس: المصادرات هي آخر ما وصل إليه تطور تفكير رسل العلمي - المنطقي. والمصادرة (Postulate) يعرفها جو بلو بأنها «قضية ليست بيّنة» بنفسها، ولا يمكن البرهنة

---

(20) محمد محمد قاسم، **في الفكر الفلسفي المعاصر: رؤية علمية** ([بيروت]: دار النهضة العربية، 2000)، ص 170.

عليها، ولكننا نسلم بها أو نصادق عليها، لأننا نستطيع أن نستنتج منها دائماً نتائج من دون أن نصادف استحالة، فهي فرض يتحقق بنتائجه». ويعرفها رسل «بأنها شيء لا يختلف عن الفرض الناجح، إلا أنها أكثر عمومية، ونفترضها من دليل كاف عليها بغية أن تساعدنا في تكوين نظرية تثبتها لنا الوقائع الخاصة بها». والمصادرات تؤكد الأمثلة الجزئية وجودها، لكنها ليست سبب هذا الوجود.

المصادرة الأولى: مصادرة الدوام النسبي[21]، وتنص على ما يلي: «إذا كانت لدينا أي حادثة (أ)، فإنه يحدث في الغالب الأعم أن توجد في أي وقت مجاور للحادثة (أ)، وفي مكان مجاور، حادثة كبيرة الشبه بـ (أ).

المصادرة الثانية: مصادرة الخطوط العلّية القابلة للانفصال (المستقلة)، ونصها: «كثيراً ما يكون من الممكن أن نؤلف سلسلة من الحوادث على نحوٍ يمكننا معه أن نستدل من عضو أو عضوين منها شيئاً ما في ما يتصل بجميع الأعضاء». ويعتبرها رسل أهم مصادراته.

المصادرة الثالثة: مصادرة الاتصال الزمكاني، وتنص على أنه «عندما يكون هناك اتصال علّي بين حادثتين ليستا متجاورتين، فلا بد أن تكون بينهما حلقات متوسطة في السلسلة العلّية تجاور كل واحدة منها الأخرى، أو أنه توجد بدلاً من ذلك عملية متصلة بالمعنى الرياضي».

واضح أن منطوق هذه المصادرة فيه رفض لمفهوم التأثير عن بعد الذي راج في زمن نيوتن، وتجلى في قانون الجاذبية:

$$\text{ق} = \frac{\text{ثا ك}_1 \times \text{ك}_2}{\text{ب}^2}$$

(21) المصدر نفسه، ص 207 ـ 214.

والذي يفيد أن كل جسمين يتجاذبان بقوة تتناسب طردياً مع حاصل ضرب كتلتيهما ك1، ك2، وعكسياً مع مربع البعد بينهما، ب أما (ثا) فهو عدد ثابت يتعلق بوحدات القياس.

المصادرة الرابعة: المصادرة البنائية، ونصها: «إذا ما انتظم عدد من الحوادث المركبة المتشابهة من حيث البناء حول مركز في مناطق لا يفصلها عن بعضها البعض فواصل فسيحة، فالأمر المعتاد هو أن كل هذه الحوادث تنتمي إلى خطوط علّية ترجع بأصلها إلى حادثة تقع في المركز ولها البناء نفسه».

فالصوت يتحول إلى موجات كهرومغناطيسية، وهذه ترتد بدورها إلى صوت. ومن المستحيل أن يحصل ذلك ما لم تكن الموجات الكهرومغناطيسية التي توسطت الأصوات المنطوقة والأصوات المسموعة ذات بناء زمكاني على شبه وثيق جداً ببناء الألفاظ المنطوقة والمسموعة.

المصادرة الخامسة: مصادرة التمثيل، ويشرحها رسل بما يلي: «إذا كانت فئتان من الحوادث هي(أ) و(ب)، وعلى فرض أننا كلما تمكنا من ملاحظة (أ) و(ب) كليهما، وجدنا ما يبرر لنا أن نعتقد أن (أ) علّة (ب)، ترتب على ذلك أنه، إذا لاحظنا (أ) في حالة معينة ولكننا لم نجد أي طريقة نلاحظ بها ما إذا كانت (ب) تحدث أم لا تحدث، فمن المحتمل أن تحدث (ب). وكذلك الحال إذا ما لاحظنا (ب) ولكن لم نستطع أن نلاحظ ما اذا كانت (أ) حاضرة أم متخلفة عن الحضور».

انتقادات[22]: من أهم الانتقادات التي وجهت إلى مصادرات رسل، ويذكرها الدكتور محمد محمد قاسم، هي ما يلي:

---

(22) المصدر نفسه، ص 207-214.

1 ـ يرى هانز رايخنباخ (H. Reichenbach) أن رسل مارس نزعة تركيبية قبلية (Apriori) في اقتراحه مبدأ الاستقراء مبدءاً أولياً ثم في مصادراته.

2 ـ أما نيل (Kneale) فقد رأى أن المصادرتين الأولى والثانية هما نقل واهن عن المبادئ التقليدية التي هي، الجوهر والعلّية واطراد الطبيعة (نظامها).

3 ـ وفريتز (Fritz) حسب أن الاستدلالات تبررها المصادرات هي وليدة تصور خاص برسل وحده عن العالم الخارجي كما يفهمه من العلم.

3 ـ بوبر: العلم ليس استقرائياً، والمعرفة وثب[23]:

نعود إلى الكلام عن وجهة نظر كارل بوبر (1902 ـ 1994)، فنذكر أنه منذ البداية يقر بضآلة المعرفة الإنسانية، ويرفض الاستقراء مبدأ أو منهجاً كما كنا قد ذكرنا. فليس يجوز، كما يقضي الاستقراء الانتقال من قضايا جزئية معبرة عن نتائج الملاحظات والتجارب إلى قضايا كلية كالفروض والنظريات.

أما مقياس نمو العلم أو امتحانه فلا يمثل في ما سمي بالتحقيق (Verification) كما ظن الاستقرائيون، بل في التكذيب (Falsification). فالنظرية التي يمكن تكذيبها، بواسطة الخبرة، تُعدّل أو تستبدل، بكل بساطة. وهكذا ينمو العلم[24]. وهذا هو منهج

(23) وتجدر الإشارة إلى أن كُون اعتمد على بوبر وذكر ذلك في الهامش رقم 18 من «الحاشية ـ 1969،» ص 330 من هذا الكتاب.

(24) Karl R. Popper, *The Logic of Scientific Discovery* (London: Hutchinson, 1980), p. 27.

المحاولة والخطأ (Method of Trial and Error). وكان بوبر يعطي العقل الدور الأكبر في اكتساب المعرفة. ومنهج البحث النقدي هو، وفقاً لوصف بوبر نفسه، أكثر المناهج عقلانية[25].

وفي ما يلي مقارنة عامة وأولية بين الاستقراء من جهة والاستنباط (Deduction) الذي يقول به بوبر. هذه صفات الاستقراء:

1 ـ العلم ينزع إلى تحصيل معرفة عليها برهان ولها تسويغ.

2 ـ كل بحث علمي يبدأ بالملاحظات والتجارب.

3 ـ المعطيات (Data) المجمعة تنظم في فرضية (Hypothesis) لم يحصل البرهان على صحتها بعد.

4 ـ يجري تكرار للملاحظات والتجارب لمرات عدة.

5 ـ وإذا ازداد عدد المرات الذي يؤيد الفرضية، فإن ذلك يعزز من احتمال صدقها، أي تسويغها.

6 ـ وفي حال اقتناعنا، على النحو الذي وصفناه، بصدق الفرضية، فإننا نحول الفرضية إلى قانون دائم.

7 ـ ثم نعاود الكرة ابتداءً من ملاحظات ظواهر جديدة وتجارب.

8 ـ وننتهي إلى جمع تلك النظريات (والقوانين) التي تم البرهان عليها، وهو الجمع الذي نسميه علماً.

وباختصار، نقول، إن الاستقرائي يؤمن بأن العلم هو الانتقال

(25) المصدر نفسه، ص 27، وكارل بوبر، **منطق البحث العلمي**، ترجمة محمد البغدادي، أصول المعرفة العلمية (بيروت: المنظمة العربية للترجمة، 2006)، ص 339 و439 ـ 440.

من الجزئيات إلى العام، وإن صدق الجزئيات يمكن نقله إلى النظرية العامة.

أما عند بوبر، فالأمر مختلف تماماً:

1 ـ صحيح أن العلم يطلب الموضوعي والمطلق، لكنه، عبثاً يبلغ حد التأكيد على بلوغه ذلك.

2 ـ كل بحث علمي ينطلق من سياق غني للمعرفة، ومن مشكلات أو برامج بحث ميتافيزيقية.

3 ـ وما النظرية العلمية سوى جواب (شرطي) على مشكلة، وهي تبتدع بشكل حر، وهي تشرح الظواهر الملاحظة، بما ليس ملاحظاً.

4 ـ تستنبط من النظرية نتائج وتمتحن تجريبياً لمعرفة قدرة النظرية على التنبؤ.

5 ـ وإذا أكدت التجارب تلك النتائج، فإن ذلك يعطي قيمة للنظرية، وليس برهاناً على صدقها.

6 ـ أما إذا جاءت التجارب معاكسة، فإن ذلك يعتبر تكذيباً للنظرية.

7 ـ حالتئذ، نبتدع نظرية جديدة حلاً للمشكلة، ونقوم بتنفيذ الخطوات ذاتها.

8 ـ ويكون مجموع ابتداعاتنا النظرية وتكذيباتنا مؤلفاً ديناميكية التقدم العلمي، الذي بالرغم من كونه تقدماً، لن يبلغ حدّ اليقين الذي لا يعتريه ريبة.

بعد ذلك، يضيف بوبر، رأيه في ما يقال عن روبنسون كروزو (Robinson Cruzo) المنفرد في جزيرة نائية عن المجتمع، من إمكانية صيرورته عالماً موضوعياً: «هناك عنصر مفقود من عناصر المنهج

العلمي، والنتيجة هي أن القول بأن كروزو توصل إلى النتائج التي توصلنا إليها ليس سوى أمر عرضي ومدهش مثل حالة المستبصر. . . لأن ما ندعوه «موضوعية علمية» ليس وليد عدم انحياز عالم فرد، بل هو نتاج الخاصة الاجتماعية أو العامة للمنهج العلمي. وانحيازات العالم الفرد، إذ وجدت، ليست مصدراً بل نتيجة موضوعية العلم الاجتماعية أو المنظمة مؤسساتياً»[26].

والعقلنة (Rationalism) موقف يشمل الاستعداد للإصغاء إلى الحجج النقدية والتعلم من الخبرة. ويرى أن أفضل معاني «العقل» و«المعقولية» الانفتاح للنقد - (أي) الاستعداد لأن تنتقد، والرغبة في نقد الذات. . .»[27]. وإذا كان الأمر كذلك، أي إذا كان النقد تعريفاً للعقل، فإن العلم عقلي. ذلك، لأن العلم مؤسسة معيارها النقد. ويصف بوبر الداروينية بقوله: «إنها، تقريباً، تحصيل حاصل»، أي قضية تحليلية بلغة المنطق[28]. وفي موضوع آخر يصفها بأنها برنامج بحث ميتافيزيقي من بين برامج بحث ميتافيزيقية أخرى. الداروينية تقول بالتغير البطيء والتدريجي، في حين نمو المعرفة، عند بوبر، يكون **بالتغير المفاجئ** أو **الوثب**.

4 - فايرابند: لا موضوعية ولا واقعية، ولا إمكانية لمقارنة النظريات العلمية:

الفيلسوف النمساوي بول فايرابند الذي قضى معظم حياته

---

(26) Karl R. Popper, *Objective knowledge: An Evolutionary Approach* (Oxford: Clarendon Press, 1975), pp. 119 and 242-243.

(27) المصدر نفسه، ص 27.

(28) Karl R. Popper, *The Open Society and its Enemies*, 2 vols., 5th ed. Revised (London: Routledge and K. Paul, 1966), pp. 219-220.

الأكاديمية في جامعة باركلي (Berkeley) في كاليفورنيا في الولايات المتحدة الأمريكية، والذي كان مناقضاً لأفكار كل من بوبر وإيمري لاكاتوس (I. Lakatos) في لندن، والصديق الزميل لـ كُون الذي ذكره بشكل بارز، ونوه بمساعدته له في وضع كتابه الحالي، هذا الفيلسوف وضع كتاباً في عام 1975 حمل عنوان: **ضد المنهج: مخطط تمهيدي لنظرية فوضوية في المعرفة** (*Against Method: Outline of an Anarchistic Theory of Knowledge*). وفي هذا الكتاب تحدّى كل محاولات وصف المنهج العلمي، التي رمت إعطاءه وضعية مميزة، منتهياً إلى القول بعدم وجود مثل ذلك المنهج المتميز بصفاته، وبالتالي لا يملك العلم خصائص تميزه تمييزاً ضرورياً عن أشكال المعرفة الأخرى. ويضيف فايرابند قائلاً، إنه إذا وجد مبدأ لمنهج علمي كما وصف دعاته، مبدأ ثابت لا يتبدّل، فهو: مبدأ كل شيء جائز أو مبدأ التعددية العلمية[29].

والشواهد الرئيسة التي يلجأ إليها فايرابند لتأييد وجهة نظره مأخوذة من تقدم علمَي الفيزياء والفلك على يد العالم الإيطالي غاليليو (Galileo). تلك الأمثلة من العِلمَين المذكورين يعجز فلاسفة العلوم عن شرحها بتصورهم القائم عن المنهج العلمي، وتقدم العلوم. إذ في كل من علمي الفيزياء والفلك لم يأخذ العالم غاليليو بما تنقله الحواس عن الوقائع، بل كان لا بد له، ليكون العلم ويتقدم، من أن يتغلب على معطيات الحس التي هي أساس العلوم عند الآخرين (الوضعيين والاستقرائيين والتكذيبيين العاملين بمبدأ زيف الفرضية من فلاسفة العلوم)، بواسطة أعمال العقل، وأحياناً،

(29) Paul Feyerabend, *Against Method: Outline of an Anarchistic Theory of knowledge* (London: Verso, 1975), pp. 50-52.

استبدال تلك المعطيات باستعمال الآلة مثل التلسكوب[30] (Telescope).

وبالنسبة إلى تقدم العلوم، لا يرى فايرابند أن ذلك كان ممكناً بواسطة ما يسمى بالمنهج العلمي أو بوجود تسلسل تاريخي منطقي للحقبات العلمية. وهو يستخدم تعبير «عدم إمكانية المقارنة» (Incommensurable) لوصف الانقطاع المنطقي بين النظريات العلمية، وذلك لعدم وجود وقائع محايدة وبريئة من النظريات يمكن استخدامها كمرجعية لإجراء أي مقارنة[31].

وفي الأخير، يعتقد فايرابند أنه لا وجود لمنهج علمي ثابت صالح لكل زمان، ولكل العلوم، وله معايير لا بد للعلوم أن تلتزم بها لتكون علوماً. ويرى أن الاحترام العظيم للعلم هو بمثابة عقيدة جامدة خطرة. وهو يماثل الدور الذي أدته الكنيسة في القرن السابع عشر وما نجم من صراع العالم غاليليو معها.

ثورية فايرابند:

ويعد فايرابند أحد الراديكاليين في قسم تاريخ العلم. وثوريته

---

(30) المصدر نفسه، ص 141-142.

(31) المصدر نفسه، ص 30، 114، 142، 158، 165، 171، 178، 214، 224. وتجدر الإشارة إلى أن كُون أتى على ذكر أطروحة «عدم إمكانية المقارنة» بين النظريات في كتابه. أنظر: الفصل التاسع، ص 201 ـ 202، والفصل العاشر، ص 205 ـ 206، و«حاشية ـ 1969»، ص 321 ـ 322 من هذا الكتاب. وفي مطلع البند الذي حمل عنوان: «الأمثلة التوضيحية، وعدم إمكانية المقارنة والثورات»، ص 319 ـ 320 من هذا الكتاب. وتجدر الإشارة إلى أن تشالمرز ذكر، في هذه المناسبة، اسم فيلسوف العلم كُون، وأن هذا استخدم التعبير ذاته «عدم إمكانية المقارنة». وذكر أن كل واحد من الفيلسوفين استخدم التعبير على نحو مستقل عن الآخر. كما ذكر أن كُون تجنب فوضوية فايرابند باللجوء إلى إجماع متحد العلماء لاستبقاء النظام والقانون.

تأسست على أطروحته التي صارت معروفة باسم «أطروحة عدم إمكان المقارنة» (Thesis of Incommensurability)، التي أشرنا إليها، والتي عنت، عنده، أن أي نظريتين علميتين لا يمكن مقارنتهما منطقياً، فهما تتصفان بصفة الانقطاع المنطقي (Logical Disjointedness).

وما تتضمنه هذه الأطروحة يهدد الواقعية (Realism) عموماً والمذهب الواقعي في فلسفة العلوم. ذلك، لأن الفيلسوف الواقعي يرى، أنه إذا ما قبل بتلك الأطروحة، متنازلاً عن موقفه، فإن مبدأ المرجعية (Reference) (الموجود في الواقع) كله يتداعى، ومعه مبدأ الصدق. لذلك، فهو عليه أن يدافع عن مذهبه ويطلق هجوماً معاكساً لما يسميه لا عقلانية الراديكاليين.

ويتعاطف فايرابند مع وجهة النظر التي صاغها وورف (Whorff) والتي تفيد أن اللغات تعمل على تشكيل الحقائق، والأفكار، وليست مجرد أدوات واصفة لها. ومثل هذا الكلام يفترض مبدأ، ألا وهو، أن قواعد لغة من اللغات تحتوي على كوزمولوجيا، أي نظرة شاملة للحياة، وهذه تؤثر بالتفكير، وبالسلوك، والإدراك الحسي، ومستشهداً بـ وورف، يذكر فايرابند أن مستعملي قواعد لغوية مختلفة توجههم تلك القواعد نحو أنماط مختلفة من الملاحظة»[32].

ويخلص فايرابند من عرضه لوجهة نظر وورف إلى القول إن

---

(32) Feyerabend, Ibid., pp. 223-224, 237, 270 and Annex 5, and Whorf, *Language, Thought, and Reality; Selected Writings*, Edited and with an Introd. by John B. Carroll; Foreword by Stuart Chase, Technology Press Books in the Social Sciences ([Cambridge]: Technology Press of Massachusetts Institute of Technology, [1956]), p. 121.

النظريات العلمية يمكن اعتبارها مماثلة للغات الطبيعية. والأدلة العلمية يمكن أن تخضع لمقاومات.

وفي عام 1977 أي بعد صدور الطبعة الأولى من كتابه: **ضد المنهج** بسنتين تقريباً نشر فايرابند مقالة في **المجلة البريطانية لفلسفة العلوم** (*The British Journal for the Philosophy of Science*) انتقد فيها بعض أفكار ستيجمولر (Stegmueller) حول فلسفة العلم. واتهم ستيجمولر بأن شرحه لأطروحة «عدم إمكان المقارنة» (The Incommensurablity Thesis) كان تضليلياً لجهة خلطة بين تصور فايرابند لها من جهة وتصور كُون لها من جهة أخرى. ويقول فايرابند في تلك المقالة، وفي سياق تمييزه بين فكرته وفكرة كُون ما يلي:

(أ) لقد لاحظ كُون أن البراديغمات (العلمية) المختلفة تستخدم تصوّرات لا تقوم بينها علاقات منطقية مثل علاقة الاشتمال (Inclusion)، وعلاقة الاستثناء (Exclusion)، وعلاقة التداخل (أو التراكب) (Overlap).

(ب) وهذه البراديغمات تجعلنا نرى الأشياء على نحو مختلف. فالعاملون في الأبحاث في البراديغمات (العلمية) المختلفة، لا يقتصر تباينهم على مستوى التصورات، بل يشمل الإدراكات الحسية أيضاً.

(ج) وإن البراديغمات تشتمل على مناهج مختلفة للبحث ولتقييم نتائجه. وينتهي فايرابند إلى القول إن البراديغمات العلمية عند كُون تتصف بعدم إمكان مقارنتها (Incommensurable) لمجموع الأسباب المذكورة. أما وجهة نظره هو فهي محصورة في منطقة واحدة، هي المنطقة (أ).

والنتيجة، يقول فايرابند، هي أنه «عندما يُستخدَم تعبير «عدم إمكان المقارنة» (Incommensurable)، كنت أعني دائماً الانقطاع

المنطقي الاستدلالي (Deductive Disjointedness)، ليس إلا».

ويتبيّن، مما تقدم أن فايرابند يحصر مفهومه لفكرته عن عدم إمكان المقارنة في دائرة التصورات. فهذه التصورات التي تؤلف ما يسميه «نظرية علمية شاملة» ليست محايدة (Neutral)، بل تؤدي دوراً كانطياً (نسبة إلى كانط): فهي تؤثر، وتشكل، وتحدد اختبارنا. هذا ما يقول:

«إن تقديم نظرية جديدة يشتمل على تغير في النظرة إزاء ملامح العالم الممكن ملاحظتها وتلك التي لا يمكن ملاحظتها، ويترافق ذلك مع تغير في المعاني، حتى معاني المفردات الأكثر أساسية للغة المستعملة».

والواقع أن فايرابند يعترف أن موقفه ينطوي على فكرة كانطية، ذلك لاعتقاده بأن النظريات العلمية إن هي إلا «طرائق في النظر إلى العالم». لذا، فإن تبنّيها يؤثر في معتقداتنا العامة، وتوقعاتنا، واختباراتنا، وفي «مفهومنا للواقع» أيضاً[33].

مع ذلك، لا يصحّ القفز إلى الاستنتاج بأن فايرابند كان مطابقاً لكانط تمام المطابقة. فهو ليس كانط الإبستمولوجي صاحب نظرية المعرفة المشهورة. لكنه يمثل نوعاً من كانط تاريخي لم نألفه من قبل. ذلك لأن مقولات العقل المحض عند كانط ثابتة لا تتغير، فهي نظرية ومغروسة في العقل، مثل مقولة السببية (السبب ـ النتيجة). في حين أن الأفكار والنظريات عند فايرابند متغيرة.

(33) Paul Feyerabend, «Review Articles: Changing Patterns of Reconstruction,» *British Journal for the Philosophy of Science*, vol. 28, no. 4 (December 1977), p. 369.

فايرابند وماركس: إن أطروحة فايرابند التي تفيد «عدم إمكان المقارنة» بين النظريات العلمية وما تتضمنه من انهيار المرجعية الثابتة للوقائع، ونظرية المطابقة في مجال صدق القضايا (الجمل)، وعدم إمكان تطبيق المناهج المنطقية في ميادين العلوم، كل ذلك يجعل تاريخ العلوم مماثلاً للتصور الماركسي للتاريخ. فكما أن ماركس رأى أن تاريخ الاجتماع البشري تألف من أنماط إنتاج مختلفة منقطع بعضها عن بعضها الآخر، كذلك، رأى فايرابند أن تاريخ العلم تألف من أنماط من النظريات منفصلة، أو كما يحب أن يقول، «وجهات نظر كونية شاملة، وغير متصلة منطقياً».

5 ـ تشالمرز الراديكالي:

ومن بين الراديكاليين (الثوريين) في مجال تاريخ العلم وفلسفته لا بد أن نذكر تشالمرز. يبدأ تشالمرز بالإشارة إلى وصف ديفيز (Davies) للعلم بقوله: «العلم بناء مشاد على الوقائع»[34]. ثم يذكر أن المدرسة التجريبية (لوك وهيوم) والوضعية المنطقية، كلتيهما، تقولان إن المعرفة العلمية يجب أن تستمد من الوقائع (Facts) التي يتوصل إليها عن طريق الملاحظة.

لكن هانسون (Hanson) يؤكد أن الاختبارات البصرية التي تحصل للأفراد وقت الرؤية لا تتحدد بصور الأشياء على شبكيّات عيونهم فقط[35]. فهي تعتمد أيضاً على الاختبارات السابقة، والمعرفة

(34) John James Davies, *On the Scientific Method: How Scientists Work*, General Studies (Harlow: Longmans, 1968), p. 8.

(35) Norwood Russell Hanson, *Patterns of Discovery; an Inquiry into the Conceptual Foundations of Science* (Cambridge: [Cambridge University Press], 1958), chap. 1.

السابقة، وثقافة وتوقعات المشاهد، وهذا كله يفترض مبدأ الفهم قبل القراءة. ونعنى أن يتعلم الإنسان الذي سيمارس ملاحظة الظواهر كيف يكون ملاحظاً مؤهلاً.

وهناك مسألة مهمة أخرى يذكرها في كتابه **ما هو هذا الشيء الذي يدعى علماً؟** (*What Is This Thing Called Science?*) وهي، أن الوقائع التي يبتدئ العلم بها، ليست الأشياء والظواهر الماثلة أمامنا، بل اللغة التي تصف تلك الوقائع (Factual Statements)، وهذه محلها العقل وليس الحواس[36]. ولغة الوقائع لا تكون، وبطريقة مباشرة، بفضل الحوافز الحسية. فهي تفترض مقداراً من المعرفة. لذا، ليس صحيحاً الزعم أننا نحصل على الوقائع، والمعرفة تأتي لاحقاً[37].

يضاف إلى ما تقدم حقيقة أخرى وهي، أن العلم لا يطلب الحقائق كيفما اتفق، وإنما يطلب الحقائق ذات العلاقة بمشاريعه. ومن هنا حاجة رجال العلم إلى التجريب. فمن نتائج التجربة، التي يمارسها العلماء بواسطة ما يبنونه من بنى بواسطة أدوات وآلات متنوعة وليس من الوقائع الملاحظة، تكوَّن العلم.

وتجدر الإشارة إلى أن بناء تجربة علمية جديدة مهمة قد يستغرق شهوراً بل عدداً من السنين. وإذا كانت نتائج التجريب هي ما يسمى بالوقائع التي تقوم عليها عمارة العلم، فهذا معناه أنها ليست معطاة للحواس مباشرة. والحصول عليها يتطلب معرفة كبيرة، ومحاولات في التجربة والخطأ، واستثمار للتكنولوجيا الموجودة.

---

(36) Alan Francis Chalmers, *What Is This Thing Called Science?* (Buckingham: Open University Press, 1999), p. 10.

(37) المصدر نفسه، ص 12.

ونتائج التجريب عرضة للتغير مع تقدم المعرفة والتكنولوجيا، ومع تغيرها تتغير نظريات العلم[38].

وهناك نقد مهمّ لمنهج الاستقراء والاستقرائيين مصدره المعرفة العلمية المعاصرة التي كثير من نظرياتها يختص بما يسمى الكائنات غير القابلة للملاحظة (The Unobservable) مثل البروتونات (Protons) والإلكترونات (Electrons)، والمورّثات (Genes)، والصيغ الوراثية DNA وما شابه. ففي مثل هذه الحال، يستحيل تطبيق منهج الاستقراء الذي هو استقراء للوقائع الملاحظة! وهذا ما حدا ببوبر إلى رفض منهج الاستقراء. فالعلم ليس استقرائياً بعد اليوم. العلم يكوّن ويتقدم عن طريق التجربة والخطأ، وبفضل التصورات المتخيلة وتكذيبها. وأخيراً، تجدر الإشارة إلى أن تشالمرز هو من بين المتعاطفين مع ثورة فايرابند، وقد درّس أفكاره في جامعة سدني في أستراليا.

ختاماً: بعد العرض الطويل الذي أجريناه، وبالطريقة التي وصفنا، يمكننا الآن أن نختتم بالملاحظات التالية:

لقد قلنا إن كُون كان مغرماً بالاستفادة من وجوه الشبه بين الأشياء والظواهر، وحتى النظريات، وكان يسمي ذلك، أحياناً، موازاة. وقد وجد، هو نفسه مقداراً من التشابه بين نظرته التطورية للعلم ونظرة داروين التطورية اللاغائية. ونحن، بدورنا رأينا تشابهاً بين نظرته التطورية الثورية والمادية التاريخية عند ماركس.

وفي الفصلين التاسع والعاشر، كما في الحاشية، وجدناه مستخدماً مصطلح «عدم إمكانية المقارنة» بما يشبه استخدام صديقه

---

(38) المصدر نفسه، ص 28.

فايرابند له بلغ حد المطابقة. ثم هناك تشبيهه للثورات العلمية بالثورات السياسية.

لكن، يظل هناك سؤال مهم، لا بد من طرحه، وهو: إذا كان العلم في حالة تغير ثوري، فما هو نظام تغيّره؟ لقد أجاب ماركس على ذلك في تبنّيه للمنطق الديالكتيكي الذي وضعه الفيلسوف الألماني هيغل (Hegel)، وإن كان قد قلب تطبيقه رأساً على عقب، فقال بالديالكتيك المادي، لا بديالكتيك الروح. لكن نظام الديالكتيك عند هيغل، كان مفعماً بلون من ألوان الاستطيقا، ساحر، حتى أن ماركس، الألماني أيضاً، والتلميذ، لم يقدر أن ينكره. فما هو ذلك اللون الساحر؟ إنه أجمل رقصة ألمانية، وقد نقلها هيغل من أقدام الراقصين والراقصات إلى رؤوسهم، إنها رقصة الفالس (Walts):

واحد ← إثنان ← ثلاثة، أو نقول: أطروحة ← طباق ← مخرج.

ما يحزننا حقاً، أن كُون لم يكن يجيد الرقص!

تصـــديــر

المحاولة التالية هي أول تقرير منشور بكامله حول مشروع ابتدأت التفكير فيه منذ حوالى خمسة عشر عاماً. وكنت حينئذ تلميذ دراسات عليا في الفيزياء النظرية وعلى وشك الانتهاء من تحضير أطروحة الدكتوراه. وكان أول تعرفي على تاريخ العلم عندما حالفني الحظ في الاشتراك في مادة دراسية تطبيقية يُقدم فيها علم الفيزياء لغير العلماء. وقد كانت دهشتي عظيمة عندما أدى تعرفي ذاك على النظرية العلمية القديمة وممارستها إلى القضاء قضاءً تاماً على بعض مفاهيمي الأساسية المتعلقة بطبيعة العلم وعلل نجاحه الخاص.

وقد سبق لي أن استخلصت تلك المفاهيم من تدريبي العلمي ذاته، ومن اهتمامي المهني المديد بفلسفة العلوم. لكن، مهما بلغت الفائدة التربوية والمعقولية التجريدية لتلك الأفكار، فإنها لم تكن متّسقة مع المشروع الذي تكشّف في الدراسة التاريخية. ومع ذلك، فقد كانت أساسية في المناقشات الكثيرة المختصة بالعلم، ولذا، فإن عجزها عن إثبات احتمالها استحق متابعة درسها كلياً. وكانت النتيجة حصول تحوّل جذري في خطط حياتي، وانتقال من علم الطبيعة إلى تاريخ العلم، ومن ثمَّ، وبصورة تدريجية، العودة من (درس)

المسائل التاريخية إلى الاهتمامات الفلسفية التي كان لها الفضل، ومنذ البداية، في توجيهي نحو التاريخ. وفيما خلا مقالات قليلة، فإن هذه المحاولة تمثل باكورة أعمالي المنشورة التي تغلب عليها تلك الاهتمامات. وهي تمثل، وبقدر ما، محاولة شرح أقدمه لنفسي وللأصدقاء عن كيفية حدوث تحوّلي من العلم إلى تاريخه في المقام الأول.

كانت فرصتي الأولى للتعمّق في بعض الأفكار المعروضة في ما يلي، قد وفرتها لي مدة السنوات الثلاث التي قضيتها كزميل جديد في جمعية الزملاء التابعة لجامعة هارفارد. ولولا تلك الفترة الزمنية من الحرية، لكان الانتقال إلى ميدان جديد للدراسة أكثر صعوبة، وكان من الممكن أن لا يتحقق. وقد صرفت جزءاً من تلك السنين في انصراف كلي إلى تاريخ العلم تحديداً. وقد درست، وعلى نحو [viii] خاص، كتابات ألكساندر كويريه (Alexandre Koyré)، وقبله كتابات إميل ميرسون (Emile Meyerson)، وهيلين ميتزجر (Hélène Metzger)، وآنيليز ماير[1] (Anneliese Maier). وقد بيّنت هذه المجموعة، وبصورة أكثر وضوحاً مما حصل من قبل الباحثين المتأخرين الآخرين، مسألة كيفية التفكير العلمي في زمان كانت فيه

---

(1) وكان لكل من المراجع التالية تأثير خاص: Alexandre Koyré, *Etudes galiléennes*, actualités scientifiques et industrielles; 852-854, 3 vols. (Paris: Hermann, 1939); Emile Meyerson, *Identity and Reality*, Translated into English by Kate Lowenberg (New York: [Macmillan], 1930); Anneliese Maier, *Die Vorläufer Galileis im 14. Jahrhundert. Studien zur Naturphilosophie der Spätscholastik* (Roma: [Edizioni di «storia e letteratura»], 1949), and Hélène Metzger: *Les Doctrines chimiques en France du début du XVIIe à la fin du XVIIIe siècle* (Paris: [s. n.], 1923), and *Newton, Stahl, Boerhaave et la doctrine chimique*, bibliothèque de philosophie contemporaine (Paris: [F. Alcan], 1930).

معايير ذلك التفكير مختلفة كثيراً عن معايير زماننا. وبالرغم من أنني لا أتفق كثيراً مع عدد قليل من تفسيراتهم التاريخية الخاصة، فإن أعمالهم، وعمل أ. أُ. لافجوي (A. O. Lovejoy) الذي حمل عنوان: **سلسلة الوجود العظيمة**، كان لها التأثير الثاني، بعد تأثير المصادر الأصلية، في صياغة تصوري لما يمكن أن يكون عليه تاريخ الأفكار العلمية.

وقد صرفت معظم وقتي في تلك السنين في اكتشاف ميادين لا تمتّ بصلة ظاهرة إلى تاريخ العلم، لكن بحثي الآن يكشف الغطاء عن وجود مسائل فيها تماثل تلك التي لفتني التاريخ إليها. وقد عثرت عن طريق المصادفة على هامشية أدّت بي إلى التجارب التي بفضلها ألقى جان بياجيه (Jean Piaget) النور على عوالم الطفل النامي المختلفة وعملية الانتقال من واحدها إلى الآخر الذي يليه[2].

كما أن أحد زملائي وجّهني إلى قراءة أوراق تختص بعلم سيكولوجيا الإدراك الحسي، وبخاصة ما كتبه السيكولوجيون الجشطالتيون، وعرّفني زميل آخر على تأملات ب. ل. وورف (B. L. Whorf) حول تأثير اللغة على النظرة إلى العالم، كذلك أدخلني كواين (O. V. W. Quine) إلى عالم الأحجيات الفلسفية المتصلة بالتمييز بين القضايا التحليلية والقضايا التركيبية[3]. ذلك كان نوع

(2) ولأن مجموعتين من بحوث بياجيه قد برهنتا على أهميتهما لأنهما عرضتا تصورات وعمليات نشأت أيضاً، وبطريقة مباشرة من تاريخ العلم: Jean Piaget: *The Child's Conception of Physical Causality*, Translated by Marjorie Gabain, Developmental Psychology; 18. International Library of Psychology; 80 (London: [Routledge], 1930), and *Les Notions de mouvement et de vitesse chez l'enfant* (Paris: [Presses universitaires de France], 1946).

(3) وقد جمع أوراق وورف، منذئذ، جون ب. كارول. انظر: Benjamin Lee Whorf, *Language, Thought, and Reality; Selected Writings*, Edited and with an =

الكشف غير المنظم الذي سمحت به جمعية الزملاء، التي من خلالها فقط، تعرفت على الكتاب الصغير غير المعروف تقريباً الذي وضعه لودفيك فليك (Ludwik Fleck) بعنوان: *Entstehung und Entwicklung einer Wissenschaftlichen Tatsache* (صدر بال في عام 1935)، وفيه محاولة تشمل، على مستوى التوقع، الكثير من أفكاري. هذا، بالإضافة إلى ملاحظة قدمها لي زميل جديد آخر هو فرانسيس ساتون (Francis X. Sutton) حول كتاب فليك جعلتني أدرك أن تلك الأفكار لا بد أن تنتمي إلى سوسيولوجيا المتَّحد العلمي. ومع أن القراء سيجدون أدناه إشارات قليلة إلى هذه الأعمال أو المحادثات، فإنه لا بد لي أن أذكر أني مدين لها بأشكال أكثر من أن أستطيع الآن وضعها وتقييمها. [ix]

وخلال السنة الأخيرة التي كنت فيها ما أزال زميلاً جديداً، وفرت لي دعوة لكي أحاضر في معهد لوويل (Lowell Institute) في مدينة بوسطن أول فرصة لكي أمتحن مفهومي للعلم الذي كان لا يزال في حالة تطور. وكانت المحصّلة سلسلة من ثماني محاضرات عامة، ألقيت خلال شهر آذار/مارس من عام 1951، ودارت حول «البحث عن نظرية فيزيائية». وفي السنة التالية شرعت في تدريس تاريخ العلم بالذات، ولم تترك لي، ولعقد من الزمان تقريباً، مشكلات تعليمي في ميدان معرفي لم أكن قد درسته بانتظام قط، إلا النزر القليل من الوقت لكي أفصل وبوضوح الأفكار التي أدخلتني فيه

= Introd. by John B. Carroll; Foreword by Stuart Chase (New York: [Technology Press of Massachusetts Institute of Technology; John Wiley and Sons], 1956).

وقدم كواين رأيه في مقاله: Willard van Orman Quine, «Two Dogmas of Empiricism,» in: Willard van Orman Quine, *From a Logical Point of View: Logico-Philosophical Essays* (Cambridge, MA: [Harvard University Press], 1953), pp. 20-46.

أول الأمر. غير أن تلك الأفكار كانت لحسن الحظ مصدر توجيه ضمنيٍّ لي ولبعض من بنية المسائل لكثير من تدريسي المتقدم. لذا، لا بد لي من تقديم الشكر لطلابي، للدروس القيّمة لجهة قابلية آرائي للحياة أو لجهة الآليات المناسبة لإيصالها بشكل فاعل. المشكلات ذاتها والتوجيه عينه وهي التي وحّدت معظم الدراسات ذات الطبيعة التاريخية الغالبة، والمتنوعة، التي كنت قد نشرتها منذ نهاية زمالتي. وكان العديد منها متعلقاً بالجزء المتكامل الذي لعبه واحد أو آخر من الميتافيزيقا في البحث العلمي الخلاق. والقسم الآخر منها كان فحصاً للطريقة التي تتراكم بحسبها الأسس التجريبية لنظرية جديدة، وكيف يستوعبها أولئك الملتزمون بنظرية أقدم منها وغير كاملة. وفي مجرى تلك العملية يصف هؤلاء نمط التطور الذي دعوته أدناه «ظهور» نظرية جديدة أو اكتشاف. وهناك، وبالإضافة إلى ذلك، روابط أخرى كهذه.

وكانت المرحلة الأخيرة لتطور هذه المحاولة قد بدأت بدعوة لقضاء العام 1958 ـ 1959 في مركز الدراسات العليا في قسم العلوم السلوكية. وقد تمكنت، وللمرة الثانية، من توجيه الاهتمام المركّز إلى المشكلات التي ناقشتها أدناه. وكان الأهم من ذلك هو أن قضائي مدة عام في المتَّحد تألف، في أغلبه، من علماء اجتماع [x] جعلني أواجه مشكلات غير متوقعة تتعلق بالفروق بين تلك المتّحدات ومتَّحدات علماء الطبيعة الذين سبق أن تمّ تدريبي في وسطهم. وقد أذهلني، وبنوع خاص، عدد واتساع الاختلافات المكشوفة، بين علماء الاجتماع، والمتَّصلة بطبيعة المشكلات والمناهج العلمية المشروعة. وقد جعلني كلٌّ من التاريخ والإطلاع اللذين حصلا لي، أشك في مسألة أن المشتغلين في العلوم الطبيعية يملكون أجوبة أكثر تماسكاً أو أكثر ثباتاً لتلك المسائل من زملائهم

في علم الاجتماع. ومع ذلك، فإن الاشتغال في علم الفلك أو الفيزياء أو الكيمياء أو علم الحياة قد أخفق عادة في إثارة مجادلات حول الأساسيات من الأمور التي غالباً ما تبدو اليوم محصورة في أوساط علماء السيكولوجيا وعلماء الاجتماع. وان محاولتي الكشف عن مصدر ذلك الاختلاف قادتني إلى أن أدرك الدور الذي يلعبه في البحث العلمي ما سميته منذ ذلك الحين «البراديغمات» وقد اعتبرت هذه إنجازات علمية معترف بها عالمياً بحيث إنها وفرت، ولمدة من الزمن مسائل براديغمية وحلولاً لها لمتّحد من المشتغلين في العلم. وحالما تيسّر لي حلّ ذلك الجزء من الأحجية، صار بالإمكان أن تظهر، وبسرعة، مسوَّدة محاولتي الجارية.

لا حاجة هنا إلى إعادة وصف التاريخ الذي تلا تلك المسوَّدة، ولكن لا بد من ذكر كلمات قليلة عن الصورة التي لم تتبدل خلال المراجعات. وحتى الوقت الذي اكتملت فيه النسخة الأولى وجرت مراجعة معظمها، توقعت أن تظهر المخطوطة فقط كمجلّد في **موسوعة العلم الموحَّد**. وقد اجتذبها أولاً محررو ذلك العمل الطليعي، ثم قيدوني بالتزام، وأخيراً انتظروا حصول النتيجة بمهارة وصبر منقطعي النظير: فأنا مدين لهم كثيراً، وبخاصة لتشارلز موريس (Charles Morris) لإدارته الحافز الجوهري، ولإسدائه النصح المتعلق بالمخطوطة التي نتجت. غير أن القيود المفروضة على حجم الموسوعة فرضت عليّ أن أعرض آرائي بصورة مكثفة جداً ومنظمة. ومع أن الأحداث التي تلت أدت إلى التخفيف من تلك القيود وسمحت بطبعة متزامنة ومستقلة، فإن هذا الكتاب لا يتعدى كونه محاولة وليس الكتاب الكامل الذي يتطلبه موضوعي في نهاية المطاف.

[xi] ولما كان هدفي الرئيسي هو الحثّ على إحداث تغيير في إدراك

وتقييم المعطيات المألوفة، فإن الصفة المنظمة بكثافة لهذا التقديم الأول لا تشكل تراجعاً. وعلى العكس، فالقراء الذين أعدتهم أبحاثهم الخاصة لنوعٍ من التوجه الجديد كالذي دافعنا هنا عنه، يمكن أن يجدوا صورةً محاولتنا أكثر إثارةً للتفكير وأيسر على الاستيعاب. غير أن هناك خسارة أيضاً في المحاولة، وهي التي كانت المبرر لتوضيحي منذ البداية أنواع التوسع في المجال والعمق التي أملت أن أدخلها، أخيراً، في نسخة أطول. فهناك دليل من التاريخ أوسع بكثير من الحيّز الذي توفر لي للاستفادة منه أدناه. وزيادة على ذلك، فإن ذلك الدليل مستمد من تاريخ علم الحياة وعلم الفيزياء أيضاً. وكان قراري للاهتمام هنا، بعلم الفيزياء فقط مبنياً في قسم منه على فكرة زيادة الاتساق في المحاولة، وفي بعضه الآخر على أساس ما يناسب المحاولة الحالية لجهة كفاءتها. وأضيف فأقول إن وجهة النظر في العلم المطوَّرة هنا تقدم فكرة عن الثراء الضمني لعدد من أنواع جديدة من البحث، تاريخية واجتماعية على السواء. وعلى سبيل المثال، فإن الطريقة التي تستدعي بموجبها الانحرافات عن التوقعات اهتمام المتَّحد العلمي المتزايد تحتاج إلى دراسة تفصيلية، مثلها مثل ظهور الأزمات التي يحركها الإخفاق المتكرر في ضبط عدم الانتظام التوقّعي. أو، أضيف، وعلى افتراض أني محق بالقول إن كل ثورة علمية تعمل على تبديل المنظور التاريخي وأحد هذه التأثيرات ـ كالتحول في توزيع الأدب التقني المذكور في هوامش تقارير البحوث ـ ينبغي درسه كفهرس ممكن لحدوث الثورات.

إن الحاجة إلى تكثيف شديد أجبرتني أيضاً على التخلّي عن مناقشة عدد من المشكلات الكبرى. وقد جاء تفريقي مثلاً، بين الفترة السابقة والفترة اللاحقة للبراديغم في سياق تطور علم من العلوم مجملاً بصورة كبيرة. فكل المدارس الفكرية التي طبع تنافسها الفترة

السابقة كانت تهتدي بشيء أقرب ما يكون إلى البراديغم. لكن هناك حالات، وإن كانت نادرة في اعتقادي، تعايش فيها براديغمان تعايشاً سلمياً في الفترة اللاحقة. ذلك أن مجرد ملكية براديغم لا يشكل مقياساً كافياً للانتقال التطوري الذي بحثته في الفصل الثاني.

[xii] والأهم من ذلك هو أنني، وباستثناء كلام انفرادي قليل بين الحين والآخر، لم أقل شيئاً عن دور التقدم التكنولوجي أو عن دور الظروف الخارجية الاجتماعية والاقتصادية والفكرية في تطور العلوم. غير أن المرء لا يحتاج إلى النظر إلى أبعد من كوبرنيكوس (Copernicus) والروزنامة ليكتشف أن الظروف الخارجية قد تساعد في تحويل ظاهرة عدم انتظام التوقّع إلى مصدر لأزمة حادة. ويشرح المثل ذاته الطريقة التي بها تؤثر الظروف القائمة خارج العلوم على مدى من الخيارات المتوافرة لمن يسعى إلى وضع حد للأزمة عن طريق اقتراح أحد الإصلاحات الثورية[4]. وفي اعتقادي، فإن الاعتبار الواضح للآثار المشابهة لا يعدل الأطروحات الرئيسة التي طوّرت في

(4) وقد نوقشت هذه العوامل في: Thomas S. Kuhn. *The Copernican Revolution; Planetary Astronomy in the Development of Western Thought* (Cambridge. MA: [Harvard University Press]. 1957). pp. 122-132 and 270-271.
وهناك تأثيرات أخرى على التطور العلمي الجوهري من الحالات العقلية الفكرية والاقتصادية الخارجية وهي مشروحة في: Thomas S. Kuhn: «Conservation of Energy as an Example of Simultaneous Discovery,» in: Marshall Clagett. ed., *Critical Problems in the History of Science; Proceedings* (Madison. Wis.: [University of Wisconsin Press], 1959). pp. 321-356: «Engineering Precedent for the Work of Sadi Carnot,» *Archives internationales d'histoire des sciences* (Roma). no. 13 (1960). pp. 247-251. and «Sadi Carnot and the Cagnard Engine.» *Isis* (Chicago). vol. 52 (1961). pp. 567-574.
لذلك، فإني لا أعتبر دور العوامل الخارجية ضئيلا إلا بالنسبة إلى المسائل التي نوقشت في هذة المقالة.

هذه المحاولة، ولكنه يضيف بالتأكيد بعداً تحليلياً ذا أهمية من المرتبة الأولى لفهم التقدم العلمي.

أخيراً، وربما كان هذا هو الأهم، فإن محدودية الحيّز المتاح قد أثرت تأثيراً جذريّاً في معالجتي للنتائج الفلسفية للنظرة العلمية لهذه المحاولة ذات التوجه التاريخي. ولا شك عندي بوجود مثل تلك النتائج المتضمنة، وقد حاولت الإشارة إليها وتوثيق أبرزها. لكني أحجمت عن المناقشة المفصّلة، وأنا أقوم بذلك العمل، للمواقف المختلفة للفلاسفة المعاصرين المتعلقة بالمسائل المقابلة. فحيث أشرت إلى المذهب الريبي، كان عملي موجهاً على الأغلب إلى الموقف الفلسفي أكثر منه إلى أي من تعابيره المترابطة تماماً. وقد ينجم عن ذلك أنّ بعض الذين يعرفون ويعملون في وسط أحد تلك المواقف المترابطة قد يشعرون أني أخطأت في فهم مرادهم. وفي اعتقادي أنهم مخطئون في ذلك، ولكن وهذه المحاولة ليست معدّة لإقناعهم. ولإقناعهم يتطلب الأمر نوعاً أكبر ومختلفاً جداً من الكتب.

أما المقتطفات الذاتية التي افتتحت بها هذا التصدير، فوظيفتها الإقرار بما أعرفه عن الدَيْن الرئيسي لأعمال الاختصاص وللمؤسسات [xiii] من حيث إن كليهما ساعداني على إضفاء صورة على فكري. وما بقي من ذلك الدين سوف أسدده بذكره في الصفحات التالية. والحق أن لا شيء مما ذكرته وسوف أذكره يتعدى أكثر من الإشارة لعدد وطبيعة ديني وعرفاني بجميل أشخاص كثيرين كان لأفكارهم المقترحة والنقدية في أوقات متعددة قوة إبقائي في العمل وتوجيه نموي الفكري. ولقد انقضى منذ ذلك الحين وقت طويل لكي تبدأ الأفكار في هذه المحاولة في التشكل. وهناك لائحة بأسماء جميع الذين سيقعون على علامات من تأثيرهم في صفحاتها إلى جانب

لائحة بأسماء أصدقائي ومعارفي. وفي ظروفي الحالية، لا بدَّ لي من أن أقيّد نفسي بالتأثيرات القليلة والأكثر أهمية التي لا يمكن حتى لذاكرة ضعيفة أن تخطئها.

لقد كان جيمس ب. كونانت (James B. Conant)، رئيس جامعة هارفارد (Harvard)، أول من عرّفني على تاريخ العلم، وبالتالي أوّل من ابتدأ بإحداث تحويل في تصوري لطبيعة التقدم العلمي. ومنذ بداية تلك العملية لم يبخل علي بأفكاره ونقده ووقته - بما في ذلك الوقت اللازم لقراءة مسوّدة المخطوطة واقتراح تغييرات مهمة فيها. أما ليونارد ك. ناش (Leonard K. Nash) الذي شاركته، لمدة خمس سنوات، في تدريس المادة الدراسية ذات التوجه التاريخي، والتي كان قد ابتدأ بتدريسها الدكتور كونانت، فقد كان بالنسبة إليّ أكثر من شريك متعاون خلال السنين التي ابتدأت فيها أفكاري بالتشكل، وقد افتقدته كثيراً في المراحل الأخيرة من تطورها. ولكن لحسن الحظّ، فإن ما حدث بعد رحيلي من كامبردج (Cambridge) هو أن ستانلي كافل (Stanley Cavell)، زميلي في جامعة باركلي (Berkeley)، قد شغل مركزه في مجلس المبدعين. وكافل هذا، الذي كان فيلسوفاً مهتماً بالأخلاق والجماليّات (استطيقا)، والذي توصل إلى نتائج متطابقة مع نتائجي، كان مصدر تحفيز وتشجيع متواصل لي. وهو، بالإضافة إلى ذلك، كان الشخص الوحيد الذي كنت قادراً معه على تفحّص أفكاري بجمل ناقصة. وقد حقق ذلك النمط من التواصل معه فهماً مكّنه من إرشادي إلى الطريق الذي ينبغي عليّ سلوكه مخترقاً عقبات كبرى أو متجنباً لها، وهي عقبات واجهتني حينما كنت أعدّ مخطوطتي الأولى.

ومنذ وضع مسوَّدة تلك النسخة، ساعدني أصدقاء آخرون كثر في إعادة صياغتها. وأظن أنهم يعذرونني إذا لم أذكر سوى أسماء

أربعة منهم فقط، وهم الذين كان إسهامهم أكثر عمقاً ورسوخاً [xiv] وهؤلاء هم: بول ك. فايرابند من جامعة باركلي، وإيرنست نيجل (Ernest Nagel) من جامعة كولومبيا (Columbia)، وهـ. بيار نويس (H. Pierre Noyes) من مختبر لورانس للإشعاع، وتلميذي جون ل. هيلبرون (John L. Heilbron) الذي كثيراً ما عمل معي عن كثب في إعداد النسخة النهائية للمطبعة. ومع أني وجدت كل تحفظاتهم واقتراحاتهم مفيدة جداً لي، إلا أني لا أملك سبباً للاعتقاد (وعندي بعض من سبب للشك) بأن أياً من هؤلاء أو سواهم من الذين أشرنا إليهم سابقاً يوافق على المخطوطة الحاصلة بكليّتها.

أما اعترافي الأخير فهو اعتراف بفضل والدي وزوجتي وأولادي، الذي لا بد أن يكون من نوع آخر. فبطرقٍ عدة قد أكون آخر من يدركها، أسهم كل واحد منهم بعناصر فكرية أيضاً في عملي. لكنهم، وزيادة على ذلك، وبدرجات مختلفة، قاموا بما هو أهم. فقد رافقوه باستمرار حتى إنهم شجعوني على تكريس نفسي له. إن كل من يعارك مشروعاً مثل مشروعي سوف يدرك مقدار الثمن الذي قدموه. وأنا لا أعرف كيف أقدم لهم شكري.

ت. س. ك.

جامعة باركلي، كاليفورنيا

شباط/ فبراير 1962

I

مقدمة: دور للتاريخ

إذا ما نُظِرَ إلى التاريخ على أنه مخزن لأكثر من حكاية لحدث مثير أو لسلسلة حوادث، حالتئذ، يمكنه أن ينتج لنا تحوّلاً حاسماً في صورة العلم التي تستحوذ علينا الآن. وكانت تلك الصورة قد استمدت، رئيسياً، وحتى من قبل العلماء أنفسهم، من درس الإنجازات العلمية التي تمَّت، حيث إن هذه الإنجازات مسجلة في الأعمال الكلاسيكية، ومؤخراً في الكتب المدرسية التي يتعلم منها كل جيل علمي جديد ممارسة اختصاصه المهني. ومن المؤكَّد أن يكون هدف مثل تلك الكتب إقناعياً وتربوياً. أما تصوّر العلم المستمدّ منها فلا يتناسب مع المشروع الذي أنتجها أكثر من كونه صورة عن الثقافة القومية المستفادة من كتيب في السياحة أو من كتاب مدرسي في اللغة. محاولتنا إنْ هي إلا مسعى لتبيان أنها أعطتنا انطباعاً خاطئاً من نواح أساسية. وهدف محاولتنا يَمْثل في عرض مختصر لتصوّر مختلف تماماً للعلم منبثق من السجل التاريخي للنشاط البحثي ذاته.

غير أن ذلك التصوّر، حتى من التاريخ، ليس في متناول اليد إذا استمر طلب المعطيات التاريخية، وتمحيصها للإجابة أساساً عن

أسئلة من وضع المألوفية النمطية اللاتاريخية المستمدة من النصوص العلمية. فعلى سبيل المثال، غالباً ما ألمحت تلك النصوص إلى أن محتوى العلم في الملاحظات والقوانين والنظريات الموصوفة في صفحاتها، ليس إلا. وقد قرئت الكتب ذاتها، وبانتظام، قراءة تفيد القول إن المناهج العلمية هي ببساطة التقنيات الناجحة المستخدمة في جمع معطيات الكتب المدرسية مضافاً إليها العمليات المنطقية المستعملة عند ربط تلك المعطيات بالتعميمات النظرية للكتب. وكان الحاصل تصوراً للعلم ذا نتائج عميقة المعاني تختصّ بطبيعته وتطوره.

غير أننا إذا افترضنا أن العلم هو منظومة من الوقائع والنظريات والمناهج مجمَّعة في الكتب الراهنة، يصبح العلماء أولئك الأشخاص الساعين بجدٍّ، سعياً ناجحاً أو مخفقاً، للإسهام بعنصر أو آخر في تلك المنظومة الخاصة. ويصير التطور العلمي عملية أجزاء تضاف [2] إفرادياً ومجموعياً، إلى المخزن الذي لا يتوقف نموه، والذي يؤلف التقنية والمعرفة العلميتين. كما يصبح تاريخ العلم الفرع العلمي الذي يسجل تلك الأجزاء المتتالية والعقبات التي منعت تراكمها. ويبدو المؤرخ المهتم بتطور العلم ذا مهمتين رئيستين. فمن ناحية، عليه أن يحدد الإنسان الذي تم على يده اكتشاف أو اختراع كل حقيقة علمية معاصرة، وقانون، ونظرية، وزمان حصول ذلك. ومن ناحية أخرى، يجب عليه أن يصف ويشرح مجموعة الأخطاء، وما له علاقة بالأسطورة والخرافات التي منعت التراكم الأسرع لمكونات النصّ العلمي الحديث. وهناك بحث كثير اتجه لتحقيق هذه الأهداف، وبعضه لا يزال جارياً.

ومع ذلك، فقد عانى نفر قليل من مؤرخي العلم صعوباتٍ متزايدةً في سبيل القيام بالوظائف التي يعيّنها لهم تصوّر التطور بفضل التراكم. وقد اكتشفوا، بوصفهم مسجلين لعملية إضافة الأجزاء، أن

تقدم البحث يجعل الإجابة عن مثل الأسئلة التالية أكثر عسراً، وليس أكثر يسراً: متى تمّ اكتشاف الأوكسجين؟ ومن هو أول من فكر بمبدأ حفظ الطاقة؟ ويزداد اعتقاد عدد قليل منهم بأن هذه الأسئلة هي، ببساطة، من النوع الخاطئ طرحه. فقد لا يتطور العلم عن طريق تراكم اكتشافات واختراعات واحدة بعد الأخرى. وفي الوقت عينه، يواجه هؤلاء المؤرخون أنفسهم صعوبات متنامية في عملية فصل المكوِّن «العلمي» للملاحظة والاعتقاد الماضيين عمّا وَسَمَه أسلافهم بأنه «خطأ» و«خرافة». وكلما ازدادت عنايتهم بدرس الديناميكا عند أرسطو أو الكيمياء الفلوجستية(*) أو الديناميكا الحرارية، تيقنوا من أن وجهات نظرهم التي كانت شائعة، في زمن، لم تكن عموماً أقل علمية أو من صنع طبيعة المزاج البشري أكثر من وجهات النظر المتداولة اليوم. وإذا عُدَّت هذه المعتقدات التي عفا عليها الزمان بمثابة الأساطير، فهذا معناه أن الأساطير يمكن إنتاجها بواسطة المناهج عينها ويكون التمسك بها للأسباب نفسها التي توصل الآن إلى المعرفة العلمية. إنما إذا دعيت علماً من جهة ثانية، فستكون النتيجة أن العلم يشتمل على معتقدات لا تتفق تماماً مع المعتقدات التي لنا اليوم. وأمام هذين الخيارين، لا بد للمؤرخ من أن يختار الخيار الثاني. ومن الوجهة المبدأية، لا تعد النظريات القديمة نظريات [3] غير علمية لمجرد الاستغناء عنها. وخيارنا ذاك، يُصَعِّب اعتبار التطور العلمي مجرد عملية تراكم. والبحث التاريخي الذي يعرض لنا صعوبات فصل الاختراعات والاكتشافات الفردية، هو ذاته الذي يقدم لنا المبرر لشكوك عميقة حول عملية التراكم التي جرى عبرها الاعتقاد بأن هذه الاسهامات الفردية في العلم قد تم تركيبها.

(*) نظرية قديمة تقول بانطلاق اللاهوب أو «الفلوجستون» عند الاحتراق (المترجم).

وقد نجم عن هذه الشكوك والصعوبات كلها ثورة تاريخية بيانية في مجال دراسة العلم، مع أنه لا يزال في مراحله الأولى. وبصورة تدريجية ومن دون وعي ما يفعلون، شرع هؤلاء لطرح أنماط جديدة من الأسئلة وتتبع خطوط علمية تطورية مختلفة، هي أقل علاقة بالاتجاه التراكمي. فبدلاً من البحث عن الإسهامات الثابتة لعلم مضى في نظرتنا الحالية، يحاولون أن يقدموا عرضاً لوحدة ذلك العلم التاريخية في زمانه. فهم لا يسألون، على سبيل المثال، عن علاقة أفكار غاليليو بالعلم الحديث، بل نراهم يطرحون أسئلة عن علاقة أفكاره بأفكار جماعته، أي، أساتذته ومعاصريه وخلفائه المباشرين في العلوم. وزيادة على ذلك، فهم يصرّون على ضرورة دراسة آراء تلك الجماعة وقرين تلك الآراء من وجهة النظر ـ المختلفة عادة عن وجهة نظر العلم الحديث ـ التي توفر لتلك الآراء أقصى درجات التماسك المنطقي الداخلي وتجعلها تبدو أقرب ما يمكن إلى الطبيعة. ومن خلال الأعمال الكتابية التي نشأت عن ذلك، والتي يمثلها خير تمثيل كتابات ألكساندر كويريه، لم يعد العلم بمجمله مماثلاً لمشروعه الذي دارت حوله مناقشات الكتّاب المنتمين إلى التقليد التاريخي الجغرافي القديم. أما النتيجة التي تتضمنها هذه الدراسات التاريخية، فهي، في الحد الأدنى، فكرة إمكانية صورة جديدة للعلم. ومحاولتنا هذه تهدف إلى تحديد تلك الصورة عن طريق توضيح بعض النتائج التاريخية البيانية الجديدة.

والسؤال الذي يطرح الآن هو: ما هي نواحي العلم التي ستبرز في مجرى هذه المحاولة؟ أولاً، وبحسب نظام عرضنا على الأقل، نذكر عدم كفاية الأهداف المنهجية، بحد ذاتها لفرض نتيجة جوهرية ووحيدة لأنواع عديدة من الأسئلة العلمية. فالإنسان الذي يطلب منه درس الظواهر الكهربائية والكيميائية، والذي يكون جاهلاً لها، وكل [4]

سلاحه أن يكون ملتزماً بالعلمية، هذا الإنسان قد يصل إلى نتيجة أو أخرى من عدد من النتائج غير المتسقة منطقياً. ومن بين تلك الإمكانيات المشروعة إمكانية أن تتحدد النتائج الخاصة التي يتوصل إليها بتجربته السابقة في حقول معرفية أخرى، وبالعوارض التي تحصل لبحثه، وبإعداده الخاص. فما الذي تفيده معتقداته الخاصة بالنجوم مثلاً في دراسته للكيمياء والكهرباء؟ وأيّاً من التجارب العديدة التي يمكن التفكير بها، والمتعلقة بالحقل المعرفي الجديد، يختار أولاً؟ وما هي جوانب الظاهرة المعقدة الناشئة التي تجتذبه على أنها ذات علاقة خاصة بتوضيح طبيعة تغير كيميائي أو طبيعة علاقة كهربائية؟ إن أجوبة عن أسئلة من هذا القبيل وعلى سبيل المثال، في الفصل الثاني من كتابنا، مفادها أن مراحل التطور الأولى لمعظم العلوم تميّزت بتنافس متواصل بين عدد من النظرات المختلفة للطبيعة، وكانت كل نظرة منها مؤسسة على مقتضيات الملاحظة والمنهج العلميين، أو متلائمة معهما تقريباً. ولم يكن مردّ الفارق بين هذه المدارس الفكرية المختلفة إخفاقاً في تطبيق المنهج ـ إذ كان كلّها «علمي» ـ وإنما كان سببه في ما سوف ندعوه الطرق غير القابلة للمقارنة، في نظرتها إلى العالم، وأساليب ممارسة العلم فيه. ولا شك في أن الملاحظة والتجربة يمكنهما، بل عليهما أن تحددا مجال المعتقد العلمي المسموح به، وإلا ينعدم وجود العلم. لكنهما تعجزان وحدهما عن تحديد البنية الخاصة لذلك المعتقد. فهناك عنصر غير مقيد بنظام مركب من أعراض شخصية وتاريخية، يدخل في تشكيل المعتقدات المؤيدة من قبل متَّحد علمي معين، في زمن معين.

غير أن وجود مثل ذلك العنصر الطارئ، لا يدلّ بأي حال من الأحوال، على إمكانية ممارسة مجموعة علمية مهنتها من دون

مجموعة من المعتقدات، هي تدعمها. كما لا يعني ذلك أن تصبح المنظومة التي التزمت بها الجماعة العلمية، في وقت ما، أقل أهمية من حيث نتائجها. فنادراً ما يبدأ البحث المنتج، قبلما يوفِّر المتَّحد العلمي لنفسه أجوبة ثابتة عن أسئلة مثل الأسئلة التالية: ما هي [5] الأجسام الأساسية المؤلفة للكون؟ وكيف تتفاعل في ما بينها ومع الحواس؟ وما هي الأسئلة المشروع طرحها عن هذه الأجسام، وما هي آليات الوصول إلى أجوبة عنها؟ فالأجوبة (أو ما يساويها)، هي، وعلى الأقل، موجودة وجوداً راسخاً، في العلوم التي اكتمل بناؤها وذلك في البداية التربوية التي تُعِدُّ الطالب للممارسة المهنية وتجيز له العمل فيها. وبما أن تلك التربية هي تربية قوية وصارمة، فإن تلك الأجوبة يكون لها تأثير عميق في العقل العلمي. وإن رسوخها يشرح الكفاءة الخاصة التي يتمتع بها النشاط البحثي العادي، كما يصف اتجاه سيره في أي وقت. ونحن عندما ندرس العلم العادي في الفصل الثالث والرابع والخامس من كتابنا، فسوف نصف أخيراً ذلك البحث بأنه مسعىً نشط ومخلص لإدخال الطبيعة، وبقوة، في المعلبات الفكرية التي هي من مؤونة التربية المهنية. وفي الوقت نفسه، سوف نسأل عما إذا كان يمكن البحث أن يستمر من دونها، كما نسأل عن العنصر العشوائي في أصولها التاريخية، وأحياناً، سيختص سؤالنا بتطورها اللاحق.

ومع ذلك نذكر أن للعنصر العشوائي وجوداً، وله أيضاً تأثير مهم في التطور العلمي، وهو الأمر الذي سندرسه درساً تفصيلياً في الفصل السادس والسابع والثامن. إن العلم العادي، أي النشاط الذي يصرف معظم العلماء كل وقتهم تقريباً، وبصورة لا خيار فيها، مبني منطقياً على الافتراض بأن المتَّحد العلمي يعرف صورة العالم. وإن جُلّ نجاح ذلك المشروع مردّه إلى إرادة ذلك المتَّحد الدفاع عن

ذلك الافتراض، حتى ولو بثمن غالٍ. والعلم العادي مثلاً يعمل غالباً على طمس الأفكار الجديدة الجوهرية، وذلك لكونها تهدم التزاماته الأساسية. لكن بالرغم من ذلك، فإننا نقول، إنه، ما دامت تلك الالتزامات مستبقية لعنصر عشوائي، فإن طبيعة البحث العادي تؤكد أن الفكر الجديد لن يكون مطموساً لمدة طويلة. وكان يحصل أحياناً أن تعصى مسألة عادية، أي من النوع الذي يجد حله في القواعد والعمليات المعروفة، على المحاولات القوية والمتكررة من قبل أكفأ أعضاء المجموعة، الذين تدخل تلك المسألة في نطاق اختصاصهم. وفي مناسبات أخرى، يتعطل عمل جهاز، مصمَّم ومبنيّ لهدف متعلق بالبحث العادي، في العمل المتوقع منه، كاشفاً عن وجود [6] عنصر طارئ من عدم الانتظام لا يمتّ بصلة إلى التوقع المهني، بالرغم من المحاولات المتكررة. في هذه الحالات وحالات أخرى، يتكرر ضلال العلم العادي عن طريقه. وعندما يحدث هذا للعلم ـ أي عندما تصير المهنة العلمية عاجزة عن إزالة الطوارئ غير المتوقعة التي تفسد التقاليد القائمة للممارسة العلمية ـ حالتئذ يبدأ التفتيش الذي بالمهنة في النهاية إلى مجموعة جديدة من الالتزامات، ونقصد، أساساً جديداً لممارسة العلم. والأحداث غير المألوفة، التي يحصل في وسطها ذلك التغير في الالتزامات المهنية، هي ما نسميه في محاولتنا هذه الثورات العلمية. وهي المتمم المدمِّر لنشاط العلم العادي المقيد بالتقاليد.

إن أوضح الأمثلة على الثورات العلمية نجده في تلك الأحداث المشهورة في تطور العلم، التي غالباً ما سميت ثورات. لذا فإننا سوف نعالج تكراراً في الفصلين التاسع والعاشر نقاط التحول الرئيسة في مجرى التطور العلمي المرتبطة بأسماء كوبرنيكوس ونيوتن ولافوازييه (Lavoisier) وإينشتاين (Einstein)، حيث نفحص أولاً

وبطريقة مباشرة طبيعة الثورات العلمية. وهذه الأحداث تعرض ماهية الثورات العلمية بصورة هي الأكثر وضوحاً من غيرها في تاريخ العلوم الفيزيائية على الأقل. وكل حدث من تلك الأحداث اضطر المتَّحد العلمي رفض نظرية علمية كانت ذات اعتبار في وقت من الأوقات، وذلك لمصلحة نظرية جديدة متناقضة معها. كما أنتج كلّ واحد منها تبدلاً في المسائل المعدة للتدقيق العلمي، وفي المعايير المهنية التي تعيِّن المسألة التي يجوز درسها أو الحلّ المقبول لتلك المسألة. وقد أحدث كل منها تحولاً في الخيال العلمي بأشكال احتجنا في النهاية إلى وصفها بأنها تحول للعالم الذي في داخله يجري النشاط العلمي. إن مثل هذه التغيرات، ومعها المجادلات التي رافقتها غالباً، تؤلف الخصائص المميزة للثورات العلمية.

وتبرز هذه الخصائص بوضوح خاص في دراسة ثورة العالم نيوتن أو الثورة الكيميائية على سبيل المثال. وإن أحد الأفكار الأساسية لمحاولتنا تبيان أن تلك الخصائص يمكن استذكارها من دراسة أحداث عديدة أخرى كانت ثوريتها أقل وضوحاً. وبالنسبة إلى [7] مجموعة مهنية أقل عدداً بكثير، بدت معادلات العالم ماكسويل (Maxwell) بمستوى ثورية نظرية إينشتاين، فكانت مقاومتها طبقاً لذلك. كما أثار ابتداع نظريات جديدة أخرى، وبصورة منتظمة ومناسبة، ردّ الفعل ذاته، وكان مصدره بعض الاختصاصيين الذين مسّت تلك النظريات منطقة كفاءتهم الخاصة. فقد بدت النظرية الجديدة لهؤلاء متضمنة لتغيير في القواعد التي حكمت الممارسة السابقة للعلم العادي. لذلك، فهي لا محالة ستعيد النظر في كثير من العمل العلمي الذي كانوا قد أتموه بنجاح. وهذا هو السبب الذي يشرح لنا لماذا نادراً ما تكون النظرية الجديدة إضافة للمعرفة السابقة، أو لا تكون مجرد إضافة، مهما كان مجال تطبيقها خاصاً. وإن هضم

هذه النظرية يقتضي إعادة بناء النظرية السابقة لها، وإعادة تقييم الواقع السابق، وذلك كله عملية ثورية داخلية، وهي قلما يقدر على إتمامها رجل بمفرده، وقطعاً لا يكون ذلك في ليلةٍ واحدة. ومن هنا، لا نجد غرابة في أن المؤرخين واجهوا صعوبات في التوقيت الدقيق لهذه العملية الممتدة، ما دعاهم، وبلغة مصطلحاتهم، إلى النظر إليها على أنها حادثاً معزولاً.

ليست الاكتشافات النظرية الجديدة هي وحدها الحوادث العلمية التي لها تأثير في الاختصاصيين الذين يتعرضون لها في ميادينهم. إن الالتزامات التي تحكم العلم العادي لا تحدد فقط أنواع الأجسام التي يحتويها العالم، بل، هي تصف أيضاً، وعن طريق التضمن، تلك الأجسام التي ليست فيه. وينتج مما تقدم فكرة تتطلب مناقشة واسعة، وهي أن اكتشافاً مثل اكتشاف الأوكسجين أو اكتشاف الأشعة السينية لا يضيف شيئاً إلى سكان عالَم العالِم. ولا شك في أن يكون للاكتشاف أثره في الأخير، لكن هذا لا يحصل قبلما يعيد المتّحد المهني تقييم التدابير التجريبية التقليدية، وتعمد إلى تغيير تصورها للأجسام التي ألفها، لمدة طويلة، وفي مجرى هذه العملية شبكة النظرية التي تتعامل من خلالها مع العالم. فليست الحقيقة الواقعية والنظرية عمليتين منفصلتين، باستثناء وجودهما داخل تقليد ما من الممارسات العلمية العادية. وفي ذلك سبب التحول النوعي لعالَم العالِم، ومعه، حصول الثراء الكمّي بفضل الاكتشافات الجديدة الجوهرية على مستوى الحقيقة الواقعية أو على مستوى النظرية.

هذا التصوّر الواسع لطبيعة الثورات العلمية هو التصور الذي تمّ لنا تحديده في الصفحات التالية. ونحن نقرّ بأن توسيع ذلك التصور يزيد من معناه المألوف. ومع ذلك، فإني لن أتوقف عن وصف [8] الاكتشافات بالثورية، لأن في ذلك تكمن إمكانية ربط بنيتها بظاهرة،

مثل ثورة كوبرنيكوس التي تجعل التصوّر الواسع يبدو لي بتلك الأهمية. وإن المناقشة المتقدمة تنبئ باختصار عن الكيفية التي سوف نطور بحسبها في الفصول التسعة التالية مباشرة درسنا للمفاهيم المتممة للعلم العادي والثورات العلمية. أما بقية المحاولة فستعالج الأسئلة المركزية الثلاثة الباقية. أما الفصل الحادي عشر، فسيعنى بسؤال عن سبب صعوبة رؤية الثورات العلمية في ما مضى، وذلك عن طريق مناقشة تقليد كتب النصوص. وسيقدم الفصل الثاني عشر وصفاً للمنافسة الثورية بين المنافحين عن التقليد العلمي العادي القديم وأتباع التقليد الجديد. فهو يدرس العملية التي يجب، بطريقة أو بأخرى، أن تحلّ في نظرية مختصة بالبحث العلمي محلّ إجراءات التحقق أو التكذيب المألوفة في صورتنا العادية عن العلم. وحدها المنافسة بين أطراف المتَّحد العلمي تؤلف العملية التاريخية التي يمكن أن تؤدي عملياً إلى رفض نظرية كانت مقبولة أو إلى تبنّي أخرى. وأخيراً، سيطرح الفصل الثالث عشر السؤال، عن كيفية حصول الملاءمة بين التطور الثوري والطابع الفريد الواضح للتقدم العلمي. ولن تقدم محاولتنا هذه للإجابة عن ذلك السؤال أكثر من الخطوط الرئيسية لجواب، يستند إلى خصائص المتحد العلمي الذي بدوره يتطلب اكتشافاً ودراسة إضافية أوسع.

ومما لا ريب فيه أن بعض القراء لا بد أن يكونوا قد تساءلوا عن إمكانية تأثير الدراسة التاريخية في نوع التحول الفكري المستهدف هنا. وهناك خزّان كامل ومتوافر من الأفكار الثنائية المتقابلة يبين لنا أن مثل تلك الدراسة تعجز عن ذلك على نحو صحيح. فلطالما كنا نقول إن التاريخ نظام من المعرفة. غير أن الأفكار المقترحة أعلاه على الأغلب أفكار تفسيرية، وأحياناً معيارية. وأضيف القول إن الكثير من تعميماتي تخصّ علم الاجتماع أو علم النفس الاجتماعي

للعلماء. ومع ذلك، فهناك على الأقل عدد قليل من النتائج التي توصلت إليها ينتمي تقليدياً إلى علم المنطق ونظرية المعرفة. ويبدو أنني لم أتقيّد في الفقرة السابقة بالتمييز المعاصر وذي التأثير الكبير جداً، بين ما يسمى «سياق الاكتشاف» و«سياق التعليل». فهل يوصف ذلك أكثر من أنه ارتباك عميق ناجم عن خلط حقول واهتمامات معرفية متنوعة؟

[9] ولأني تغلبت فكرياً على مثل هذه التمايزات وغيرها مما يقارنها، فإني قلما أدرك معناها وقوتها. لذا ظللت، ولسنوات عديدة، أحسبها متعلقة بطبيعة المعرفة، وما زلت أفترض أنها، إذا ما أعيدت صياغتها على نحو مناسب، فإنها ستفيد معرفتنا لاحتوائها على شيء ما ذي أهمية. ومع ذلك، فإنّ محاولاتي لتطبيقها، وكما هي، على المواقف الفعلية التي فيها تكتسب المعرفة وتُقبَل وتهضم، أظهرت أنها تؤلف مشكلة غير عادية. فهي لم تكن تمييزات منطقية ومنهجية ابتدائية، من النوع الذي يتقدم تحليل المعرفة العلمية، بل تبدو الآن عبارة عن أجزاء لا تتجزأ من مجموعة الأجوبة الجوهرية التقليدية على الأسئلة عينها المناسبة لها. ومع ذلك، فإن تلك الدائرة المنطقية المفرغة لا تجعلها باطلة. لكنها تدخلها في صميم نظرية، وبذلك، تخضع للفحص الدقيق الذي يطبق على النظريات في الميادين الأخرى. ولكي يتعدى محتواها الفكرَ التجريدي، لا بد من اكتشافه عن طريق ملاحظتها في تطبيقها على المعطيات الواقعية التي وجدت لشرحها. فكيف يمكن لتاريخ العلم أن يكون مصدراً لظواهر تُلقى حولها، وبصورة مشروعة، أسئلة نظريات المعرفة، وعليها تطبق هذه النظريات؟ هذا هو السؤال.

II

الطريق إلى العلم العادي

يعني «العلم العادي»، في محاولتنا الجارية، ذلك البحث المؤسس بصورة راسخة على واحد أو أكثر من الإنجازات العلمية السابقة، التي يعتبرها متَّحد علمي ما، الأساس لممارسته العلمية اللاحقة. واليوم، يعاد ذكر مثل تلك الإنجازات، وبالتفصيل، في كتب النصوص العلمية، الابتدائية منها والمتقدمة. وتشرح هذه الكتب بنية النظرية المقبولة، وتضرب أمثلة عن جل أو كل تطبيقاتها الناجحة، كما تقارن هذه التطبيقات بملاحظات وتجارب براديغمية. وقبل أن تصبح مثل تلك الكتب شعبية في مطلع القرن التاسع عشر، (وحتى وقتٍ قريب للعلوم المكتملة حديثاً)، فقد أدى العديد من كتب العلم الكلاسيكية المشهورة وظيفة مماثلة. فكتاب **الطبيعيّات** لأرسطو (Aristotle)، وكتاب **المجسطي** لبطليموس (Ptolemy)، وكتابا **المبادئ والبصريات** لنيوتن، وكتاب **الكهرباء** لفرانكلين (Franklin)، وكتاب **الكيمياء** للافوازييه، وكتاب **علم الجيولوجيا** للايل (Lyell)، كانت أعمالاً قامت، ولزمن ما، هي وكثير غيرها، بتحديد ضمني لما هو مشكلات مشروعة ولطرائق

البحث لتعمل بحسبها الأجيال اللاحقة من المشتغلين بشؤون العلم. والذي مكنهم من ذلك هو مشاركتهم بخاصتين جوهريتين، وهما: لم يسبق له أن جذب مجموعة من الأتباع الثابتين بعيداً عن أشكال النشاط العلمي المتنافسة، وفي الوقت نفسه، كان مفتوحاً بابه لحلّ كل أنواع المشكلات لمجموعة جديدة من المشتغلين التي يعاد تحديدها.

وإني أسمي تلك الإنجازات التي تتمتع بتينك الخاصتين براديغمات وهذا المصطلح ذو علاقة وشيجة بـ «العلم العادي»، وباختياره رميتُ إلى طرح فكرة أن بعض الأمثلة المقبولة من الممارسة العلمية الفعلية ـ وهي أمثلة تشمل القانون، والنظرية، والتطبيق، واستعمال الأدوات ـ تقدم نماذج تصدر عنها تقاليد للبحث العلمي متناسقة منطقياً. وهذه التقاليد هي قرين تلك التي يصفها المؤرخ بوضعها تحت عناوين مثل «**علم الفلك** البطليموسي» (أو «الكوبرنيكي»)، و«**علم الحركة** الأرسطي» (أو «النيوتوني»)، و«**علم البصريات** الجُسَيْمي»، (أو «البصريّات الموجية»)، وهكذا. وإن درس [11] البراديغمات، بما في ذلك الكثير منها مما هو أكثر اختصاصاً مما سبق ذكره، هو الذي يُعِدّ الطالب ليصير عضواً في متَّحد علمي خاص، سيمارس مع أعضائه في ما بعد نشاطه العلمي. ولأنه سيشارك أشخاصاً هناك كانوا قد تعلموا قواعد العمل في ميدانهم من البراديغمات المادية نفسها، لذلك قلما تثير ممارسته اللاحقة، خلافات مكشوفة حول المبادئ الأساسية لعملهم. فالأشخاص الذين يقوم بحثهم على براديغمات مشتركة يكونون ملتزمين بقواعد ومعايير الممارسة العلمية نفسها. وذلك الالتزام وما ينجم عنه من اتفاق ظاهري هما الشرطان الضروريان للعلم العادي، أي لنشوء واستمرار تقليد خاص من تقاليد البحث.

ولأن تصور البراديغم في محاولتنا هذه سيحلّ محلّ عدد متنوع

من الأفكار العادية، فإن الأمر يحتاج إلى إطالة الكلام عن الأسباب التي دعت إلى إدخاله. فالسؤال الآن هو: لماذا يتقدم الإنجاز العلمي المادي، باعتباره محلاً للالتزام المهني، على الأفكار المختلفة والقوانين والنظريات ووجهات النظر التي يمكن تجريدها منه؟ وبأي معنى من المعاني يؤلف البراديغم المشترك وحدة جوهرية في نظر الطالب الذي يدرس التطور العلمي، فلا يمكن تحليلها منطقياً بردها إلى عناصر صغيرة بدلاً منها؟ ونحن، عندما نواجه هذه الأسئلة في الفصل الخامس، فإننا سنكتشف أن الأجوبة عن مثل هذه الأسئلة وما يقارنها، ستكون أساسية لفهمنا تصوّر العلم العادي، ولتصور البراديغمات المرافقة له. وإن مناقشة أكثر تجريدية سوف تعتمد على عرضنا السابق لأمثلة عن العلم العادي أو عن البراديغمات في مجرى عملها. وسيتمّ توضيح التصوّرين المترابطين المذكورين، كليهما، بصورة خاصة، عن طريق الإشارة إلى إمكانية وجود نوع من البحث العلمي، خالٍ من البراديغمات، أو خالٍ على الأقل من أيّ من تلك البراديغمات الواضحة والمقيِّدة كالتي جئنا على ذكرها في ما تقدم. وإن الحصول على براديغم نوع وعلى البحث الأكثر عمقاً الذي يتيحه إن هو إلا علامة نضج في تطور أي ميدان علمي معيّن.

وإذا ما عاد المؤرخ أدراجه إلى ماضي المعرفة العلمية لأي مجموعة من الظواهر المترابطة، فسيكون عليه على الأرجح أن يواجه نوعاً ثانوياً من نمط من تاريخ علم البصريات الفيزيائية، كنا قد شرحناه هنا. فالكتب المدرسية المتعلقة بالفيزياء تعلم الطالب اليوم [12] قصة أن الضوء مؤلف من فوتونات، أي من أجسام كميّة حركيّة تتمتع ببعض خصائص الموجات وبعض خصائص الجسيمات. ثم يسير البحث ويستمر بحسب هذه النظرية أو وفقاً للصياغة الرياضية المفصلة التي كانت أساساً لانبثاقها المألوف. غير أن هذا التوصيف

للضوء قد مضى عليه ما يقارب نصف قرن. وقبل وضعه وتطويره على يد العالمين بلانك (Planck) وإينشتاين وآخرين إبّان هذا القرن، كانت كتب الفيزياء تدرِّس نظريةً مفادها أن الضوء عبارة عن حركة أمواج عَرْضية، وهذه تجد أساسها الأخير في براديغم موجود في كتابات العالمين يونغ (Young) وفرِزنِل (Fresnel)، الخاصة بالبصريات في أوائل القرن التاسع عشر. ولم تكن النظرية الموجية هي الأولى التي تمسّك بها تقريباً جميع المشتغلين بعلم البصريات. فخلال القرن الثامن عشر وفر لنا كتاب العالم نيوتن الذي حمل عنوان **البصريات** (*Opticks*) براديغم لهذا الحقل المعرفيّ، علّم أن الضوء هو عبارة عن جسيمات مادية. وقد وجد علماء الفيزياء، آنذاك الدليل على صحة رأيهم في الضغط الذي تبذله جسيمات الضوء لدى اصطدامها بالأجسام الصلبة، وهو ما لم يحاول فعله علماء النظرية الموجية الأوائل(1)!

إن هذه التحولات في براديغمات علم البصريّات الفيزيائية، هي ثورات علمية، وإن عملية الانتقال المتلاحق من براديغم إلى آخر عن طريق الثورة هي بمثابة النمط التطوري العادي الخاص بالعلم المكتمل. وعلى كل حال، لم يكن هذا هو النمط الذي كان يميّز الفترة التي سبقت عمل العالم نيوتن، وهنا يوجد التباين الذي يهمّنا. فبين الماضي السحيق ونهاية القرن السابع عشر، لا توجد فترة تمّ فيها عرض نظرة واحدة مقبولة عموماً عن طبيعة الضوء. وعوضاً عن ذلك، كان هناك عدد من المدارس المتنافسة والمدارس الفرعية المؤيدة لنوعٍ أو آخر من نظريات الفلاسفة إبيقور (Epicurus) وأرسطو

---

(1) انظر: Joseph Priestley, *The History and Present State of Discoveries Relating to Vision, Light, and Colours* (London: [Printed for J. Johnson], 1772), pp. 385-390.

(Aristotle) وأفلاطون (Plato). فقد اعتبرت إحدى المجموعات الضوءَ عبارة عن جسيمات تصدر من أجسام مادية، وبدا الضوء لمجموعة أخرى تعديلاً في الوسط الواقع ما بين الجسم والعين، وفيما شرحت مجموعة أخرى الضوء بدلالة التفاعل بين الوسط مع صدور عن العين، وبالإضافة إلى ذلك، وجدت تركيبات وتعديلات أخرى حول طبيعة الضوء. وقد استمدت كل مدرسةٍ من تلك المدارس قوتها من علاقتها بنوع خاص من الميتافيزيقا، كما أكد كل منها على اعتبار المجموعة خاصة من الظواهر البصريّة التي تتمكن [13] نظريتها الخاصة من شرحها على أفضل وجه بمثابة مشاهدات براديغمية. أما المشاهدات الأخرى، فقد جرى التعامل معها بغير عناية، أو ظلت مشكلات بارزة تعالج في بحث أكثر توسعاً[2].

وفي مراحل زمنية مختلفة، قدمت هذه المدارس كلها إسهامات مهمة دخلت في مجموعة التصورات والظواهر والأساليب التي منها استمدّ العالم نيوتن أول براديغم للبصريات الفيزيائية، وهو الذي نال قبولاً منتظماً تقريباً. لذا فإن أي تحديد لمعنى العالم يستثني، على الأقل أعضاء هذه المدارس المختلفة، الذين كانوا أكثر إبداعاً، سيؤدي فضلاً عن ذلك إلى استثناء خلفائهم الحديثين. فهؤلاء الرجال كانوا علماء. ومع ذلك، فإن أي باحث يستعرض علم البصريات الفيزيائية الذي كان سائداً قبل زمن العالم نيوتن، سوف يستنتج، بالرغم من كون المشتغلين في ذلك الميدان علماء، بأن صافي عملهم كان دون مستوى العلم. ولأن أيّ كاتبٍ في علم البصريات الفيزيائية بمقدوره أن لا يسلم بمجموعة شائعة من المعتقدات، فإنه

(2) انظر: Vasco Ronchi, *Histoire de la lumière*, traduit par Juliette Taton (Paris: [s. n.], 1956), chaps. i-iv.

يجد نفسه مضطراً إلى الإقدام على بناء ميدان عمله بناءً جديداً، ومن الأساس. وبفعله ذاك، صار اختياره للمشاهدات والتجارب المؤيدة حرّاً نسبيّاً، وذلك لعدم وجود مجموعة من المناهج أو الظواهر مفروض على كل كاتب في البصريات أن يوظفها ويشرحها. وفي ظل هذه الظروف، كان الحوار الناجم عن الكتب التي نتجت موجهاً في أغلبه إلى أعضاء المدارس الأخرى وإلى الطبيعة على السواء. ولم يكن ذلك النمط غريباً في عدد من ميادين الإبداع في أيامنا، كما أنه لم يكن متناقضاً مع ظواهر الاكتشاف المهمة والاختراع. لكنه، مع ذلك، لم يكن من نوع نمط التطور الذي كان لعلم البصريات الفيزيائية بعد زمن العالم نيوتن، والذي ألفته العلوم الطبيعية الأخرى اليوم.

ويقدم تاريخ البحث الكهربائي، في النصف الأول من القرن الثامن عشر، مثلاً ملموساً أكثر ومعروفاً بشكل أفضل عن طريق تطور العلم قبل أن يكتسب الصورة الأولى لبراديغم مقبول عالمياً. وفي غضون تلك الفترة الزمنية طرحت آراء عديدة عن طبيعة الكهرباء ناهزت بعددها تقريباً عدد العلماء الذين أجروا تجارب كهربائية مهمة، مثل هوكسبي (Hauksbee)، وغراي Gray، وديزاغوليير (Desaguliers)، ودو فاي (Du Fay)، ونوليت (Nollett)، وواطسون (Watson)، وفرانكلين، وآخرين. وكانت تصورات هؤلاء المتعددة عن الكهرباء لديها شيء مشترك ـ فكلها مستمدّ جزئياً من صيغة أو أخرى، للفلسفة الجسيمية ـ الميكانيكية التي كانت دليل كل البحوث [14] العلمية آنذاك. يضاف إلى ذلك، أنها كلها كانت عبارة عن مكونات نظريات علمية واقعية، أي نظريات مستفادة، جزئياً من التجارب والمشاهدات، وحددت جزئياً الخيارات والتفسيرات المتعلقة بمشكلات إضافية جرت معالجتها في البحث. لكن بالرغم من أن كل

التجارب كان في الكهرباء، وأن معظم المشتغلين فيها اطلعوا على أعمال بعضهم البعض، إلا أن نظرياتهم لم تتجاوز علاقتها ببعضها البعض علاقة التشابه بين أفراد أسرة[3].

وقد عدَّت إحدى مجموعات النظريات المبكّرة، التي اتبعت الممارسة العلمية في القرن السابع عشر، ظاهرتي التجاذب الكهربائي وتوليد الكهرباء عن طريق الاحتكاك الظاهرتين الكهربائيتين الأساسيتين. ومالت إلى التعامل مع ظاهرة التنابذ الكهربائي على أنها ظاهرة ثانوية ناجمة عن نوعٍ ما من الارتداد الميكانيكي، كما أنها أرجأت، ولأطول مدة ممكنةٍ، المناقشة والبحث المنظم في ظاهرة التوصيل الكهربائي التي تمّ للعالم غراي (Gray) اكتشافها، نتيجة تجاربه. وهناك «كهربائيون» (وهذا الاسم هو ما أطلقوه على أنفسهم) غير هؤلاء قد حسبوا التجاذب والتنابذ ظاهرتين كهربائيتين أوليتين

(3) انظر: Duane Emerson Roller and Duane H. D. Roller, *The Development of the Concept of Electric Charge; Electricity from the Greeks to Coulomb*, Harvard Case Histories in Experimental Science; Case 8 (Cambridge, MA: [Harvard University Press], 1954), and I. Bernard Cohen, *Franklin and Newton; an Inquiry into Speculative Newtonian Experimental Science and Franklin's Work in Electricity as an Example Thereof*, Memoirs of the American Philosophical Society; v. 43 (Philadelphia: [American Philosophical Society], 1956); chaps. vii-xii.

وبالنسبة للتفصيل التحليلي في الفقرة التالية في النص، أنا مدين لمقالة لم تنشر بعد كتبها تلميذي جون ل. هيلبرون (John L. Heilbron) وفي انتظار نشرها تمّ إدخال وصف أكثر دقةً وتوسعاً عن ظهور براديغم فرانكلين (Franklin) في: Thomas S. Kuhn, «The Function of Dogma in Scientific Research,» Paper Presented at: *Scientific Change; Historical Studies in the Intellectual, Social, and Technical Conditions for Scientific Discovery and Technical Invention, from Antiquity to the present. Symposium on the History of Science, Oxford, 9-15 July 1961*, Edited by A. C. Crombie (London: Heinemann Educational Books, [n. d.]).

على حدٍّ سواء، فعدّلوا نظرياتهم وأبحاثهم طبقاً لذلك. (وكانت هذه المجموعة صغيرة عددياً، وبصورة بارزة ـ حتى إنّ نظرية فرانكلين لم تهتم مطلقاً بشرح ظاهرة التنابذ المتبادل بين جسمين يحملان شحنات كهربائية سالبة). وقد واجهت هذه المجموعة من النظريت صعوبات تعادل صعوبات المجموعة الأولى في القيام بشرح متزامن للظاهرات، باستثناء الأبسط من آثار التوصيل الكهربائي. ولكن تلك الآثار وفرت لمجموعة ثالثة منطلقاً، فمالت إلى القول إن الكهرباء عبارة عن «سائل» يمكنه أن يتدفق في موصلات وليس «بخاراً» غير مرئي صادراً عن أجسام غير موصلة. وقد شقَّ على هذه المجموعة، بدورها، إمكان التوفيق بين نظريتها وعدد من ظاهرات التجاذب ءالتنافر. ولم [15] تظهر نظرية قادرة إلا من خلال عمل العالم فرانكلين ومن خلفه مباشرة، وبها أمكن شرح كل هذه الآثار الكهربائية، وبيسر، لجيل لاحق من «الكهربائيين» يكون مزوداً ببراديغم مشترك لأبحاثه.

وإذا ما استثنينا حقولاً للمعرفة، مثل الرياضيات ولفلك، التي تعود براديغماتها الثابتة الأولى إلى ما قبل التاريخ، وإذا فعلنا الشيء نفسه بحقول أخرى، مثل الكيمياء الحيوية، وهي حقول كانت قد نشأت عن طريق انقسام وإعادة تأليف اختصاصات تم نضجها، فستبدو المواقف التي أجملنا الكلام عنها أعلاه نمطية من الوجهة التاريخية. ومع أنني سوف أستمر في استعمال التبسيط غير المرغوب فيه، والذي، بواسطته، تسمى، مرحلة تاريخية مديدة باسم أحد العلماء، وأحياناً باسم مختار بصورة عشوائية (مثلاً، نيوتن أو فرانكلين)، فإني أرى أن هناك خلافات أساسية مماثلة قد طبعت، على سبيل المثال، درس الحركة قبل أرسطو، والسوائل الساكنة قبل أرخميدس (Archimedes)، ودراسة الحرارة قبل بلاك (Black)، والكيمياء قبل بويل (Boyle) وبويرهاف (Boerhaave)، والجيولوجيا الناريخية قبل

هتّون (Hutton). وفي بعض أقسام البيولوجيا ـ كدراسة الوراثة مثلاً ـ ما زالت البراديغمات الأولى التي احتفي بها عالميّاً حديثة أكثر من غيرها، كذلك ظل السؤال مطروحاً حول أي أقسام في علم الاجتماع اكتسبت براديغمات إطلاقاً. والتاريخ يقدم لنا فكرة عن أن الطريق إلى تحقيق إجماع ثابت في الرأي حول مسألة البحوث، صعب المنال.

غير أن التاريخ يقدم لنا بعض أسباب الصعوبات التي تواجَه في ذلك الطريق. ففي حالة عدم وجود براديغم، أو عدم وجود مرشح ليكون براديغماً، فإنه من المحتمل أن تبدو الوقائع المتعلقة بتطور علم معين، متعادلة الصلة به. لذا، فإن جمع الوقائع المبكر لا يعدو أن يكون نشاطاً هو أقرب إلى العشوائية من النشاط الذي سيعرفه التطور العلمي اللاحق. وزيادة على ذلك، ففي حال عدم وجود سبب يقضي بالبحث عن شكل خاص ما من المعلومات غير المعروفة، سيكون جمع الوقائع المبكر محصوراً بثروة المعطيات الجاهزة للاستعمال. وسيكون مجمَّع الوقائع الحاصل شاملاً ما تم الوصول إليه عن طريق المشاهدة العرضية، وطريق التجربة، ومعها بعض المعطيات الغامضة المستعادة من حِرفٍ قائمة مثل الطب، وصناعة الروزنامات، والتعدين. ولأن الحرف تشكّل أحد المصادر الجاهزة للوقائع الذي يمكن الوصول إليه، والذي لم يكتشف عرضياً، فقد أدّت التكنولوجيا غالباً دوراً حيوياً في ظهور علوم جديدة. [16]

ومع أن هذا النوع من جمع الوقائع كان جوهرياً لنشوء العديد من العلوم المهمة، فإن أي دارس، وعلى سبيل المثال، لكتابات بليني (Pliny) الموسوعية، أو المؤلفات التاريخية الطبيعية لـ بيكون (Bacon) في القرن السابع عشر، سوف يكتشف أنه أنتج خليطاً من الوقائع المضطربة التي لا ينظمها نظام. وسوف يتردد المرء في إسباغ صفة العلم على الأدبيات الحاصلة. فقد، كانت كتابات بيكون

«التاريخية» عن الحرارة، واللون، والرياح، والتعدين... إلخ مملوءة بالمعلومات، وبعضها يكتنفه الغموض فلا يفهم. لكن تلك الكتابات جمعت وقائع سيتبين في ما بعد، أنها موحية (مثلاً، التسخين بالخلط)، لوقائع أخرى (مثلاً، الدفء الصادر عن أكوام الروث) سوف يظل من العسير، ولبعض الوقت، إدخالها في نظرية إطلاقاً[4]. بالإضافة إلى ذلك، وبما أنه لا بد لأي وصف من أن يكون جزئياً، فإن التاريخ الطبيعي ذا النمط المعروف غالباً ما يحذف من شروحه التفصيلية العرضية الكثيرة تلك التفاصيل التي سيجد فيها العلماء اللاحقون مصادر تنوير مهمة. فلا يأتي واحد من كتب «تواريخ» الكهرباء مثلاً على ذكر ظاهرة ارتداد قشة بعد انجذابها إلى قضيب مفروك من الزجاج. فقد بدت تلك الظاهرة ميكانيكية لا كهربائية[5]. بل أكثر من ذلك، وبما أن جامع الوقائع جمعاً عرضياً، نادراً ما يملك الوقت والأدوات الضروريين ليكون نقدياً، فإن حاله ستؤدي لأن تجمع التواريخ الطبيعية عروضاً وصفية كالتي وردت من قبل إلى عروض أخرى مثل التسخين عن طريق التمعّج العكسي (أو بواسطة التبريد)، وهي ظاهرة نعجز عن إثباتها الآن[6]. وما كان يحدث هو

---

(4) قارن تخطيطاً للتاريخ الطبيعي للحرارة في كتاب بيكون: Francis Bacon, *The Works of Francis Bacon*, Edited by James Spedding, Robert Leslie Ellis and Douglas Denon Heath (New York: [n. pb.], 1869), vol. VIII: *Novum Organum*, pp. 179-203.

(5) Roller and Roller, Ibid., pp. 14, 22, 28 and 43.

ولم تحرز الآثار النابذة الاعتراف بأنها كهربائية بصورة واضحة إلا بعد تسجيل العمل في هذه الاستشهادات الأخيرة.

(6) Bacon, Ibid. pp. 235 and 337,

يقول: «الماء الدافئ قليلاً يتجمد بسهولة أكثر من الماء البارد». وللحصول على وصف جزئي للتاريخ السابق لهذه الملاحظة الغريبة. انظر: Marshall Clagett, *Giovanni Marliani and Late Medieval Physics* (New York: [n. pb.], 1941), chap. iv.

أن تنطق الوقائع المجمّعة، من دون هداية من نظرية تم بناؤها، بوضوح كاف يسمح بظهور براديغم أول، كما حصل في حالات العلوم القديمة مثل علم السوائل الساكنة، وعلم الديناميكا، والبصريات الهندسية.

هذا هو الوضع الذي يوجد المدارس التي تميز المراحل الأولى لتطور علم ما. فلا يمكن تفسير تاريخ طبيعي في حال غياب كتلة من [17] المعتقدات النظرية والمنهجية المترابطة والمتضمَّنة في الوقائع، تسمح بالانتقاء والتقييم والنقد. وإذا لم تكن تلك الكتلة من المعتقدات متضمَّنة في مجموعة الوقائع ـ وفي مثل هذه الحال يكون في متناول اليد ما هو أكثر من «مجرد الوقائع» ـ فلا بد من إمدادها من الخارج بميتافيزيقا راهنة، أو بعلم آخر، أو حدث طارئ شخصي أو تاريخي. فلا عجب إذاً في المراحل الأولى لتطور أي علم، رجال مختلفون ممن واجهوا مجالاً واحداً من الظواهر، وإن لم يواجهوا الظواهر الخاصة نفسها، ثم انتهوا إلى وصفها بأشكال مختلفة. والأمر الذي يبعث على الدهشة، وهو أيضاً الأمر الذي يحصل بدرجة فريدة في الحقول التي ندعوها علماً، أن مثل تلك التباعدات الأولية تختفي بمقدار كبير.

وهي لا تظهر، فعلياً، وبمقدار مهم، ثم تختفي إلى الأبد. يضاف إلى ذلك أن سبب عدم ظهورها يَمْثُلُ في العادة في فوز إحدى المدارس السابقة لظهور البراديغم، التي تمكنت بفضل معتقداتها الخاصة، وتصوراتها القبلية، من التشديد على قسم خاص بعينه من مجمَّع المعلومات الضخم والفوضوي. فهؤلاء الكهربائيون الذين حسبوا الكهرباء سائلاً، وأكدوا بالتالي تأكيداً خاصاً ظاهرة التوصيل الكهربائي، يقدمون حالة ممتازة تتعلق بالموضوع. وقد قاد هذا المعتقد، الذي قلما تطابق مع ظواهر التجاذب والتنابذ، إلى

التفكير بوضع السائل الكهربائي في زجاجات. وكانت الثمرة المباشرة لجهودهم، جرّة ليدن (Leyden)، وهي جهاز كان اكتشافه أبعد ما يكون عن إنسان يبحث في الطبيعة، بصورة عرضية أو عشوائية، ولكنها تطورت، على الأقل، على يدي اثنين من الباحثين المستقلين في أوائل عام 1740[7]. ومنذ بداية أبحاثه الكهربائية، تقريباً، اهتم فرانكلين بوجه خاص بشرح ذلك الجهاز الغريب والخاص والموحي، بعد الذي حصل. ونجاحه في ما سعى إليه كان بمثابة أكثر الحجج إقناعاً على أن نظريته كانت براديغماً، وذلك بالرغم من قصورها عن شرح جميع الحالات المعروفة من التنابذ الكهربائي[8]. فلكي تقبل نظرية أن تكون براديغمَ، لا بد أن تبدو أفضل من [18] النظريات الأخرى المنافسة لها، ولكنها ليست بحاجة لأن تشرح كل الوقائع التي تواجهها، وفعلياً لا تقوم النظرية بذلك.

وفي ما بعد، كان ما قدمه براديغم فرانكلين لمجموعة الكهربائيين برمّتها مماثلاً لما قدمته نظرية السيّال الكهربائي للمجموعة الصغيرة السابقة. لقد أوحى إليهم عن أي تجارب جديرة بأن يقوموا بها، وتلك التي يجب إهمالها لأنها استهدفت ظواهر كهربائية ثانوية أو مفرطة في التعقيد. وحده البراديغم أنجز المهمة بفعالية أكثر بما لا يقاس، وكان مردّ ذلك متمثلاً، من ناحية، في حقيقة أن توقف الجدل في ما بين المدارس الفكرية وضع نهاية للتكرار الدائم للمبادئ الجوهرية، ومن ناحية أخرى، في أن ثقة العلماء بأنهم كانوا

---

(7) انظر: Roller and Roller, Ibid., pp. 51-54.

(8) وكانت الحالة المزعجة هي التنابذ المتبادل ما بين الأجسام المشحونة بكهرباء سالبة. ولهذه المسألة، انظر: Cohen, *Franklin and Newton; an Inquiry into Speculative Newtonian Experimental Science and Franklin's Work in Electricity as an Example Thereof*, pp. 491-494 and 531-543.

ماضين في الطريق الصحيحة، شجعهم على القيام بأنواع من الأعمال الأكثر دقةً ومحصوريّةً وبذلاً للجهد[9]. وبتحررهم من الاهتمام بأي واحدة من الظواهر الكهربائية وبها كلها، استطاعت مجموعة الكهربائيين المتحدين من دراسة ومتابعة درس ظواهر منتقاة درساً تفصيلياً أوسع، وتصميم معدات خاصة للعمل واستعمالها بطريقة أكثر إصراراً ومنهجية مما كان قد حصل على أيدي الكهربائيين قبلهم. وهكذا صار جمع الوقائع وصوغ النظرية نشاطيْن موجَّهيْن بصورة عالية. وازدادت فعالية وكفاءة البحث الكهربائي طبقاً لذلك مقدمتين دليلاً مؤيداً للنسخة الاجتماعية للقول المنهجي البارع الذي نطق به فرانسيس بيكون، وهو: «ظهور الصدق من الخطأ هو أسرع من ظهوره من الفوضى»[10].

وسوف ندرس في الفصل التالي طبيعة هذا البحث ذا الدرجة العالية من التوجيه أو المؤسَّس على وجود براديغم، لكن علينا أولاً أن نضع ملاحظة مختصرة عن الكيفية التي بحسبها يؤثر ظهور براديغم في بنية مجموعة المشتغلين في الحقل المعرفي. ففي تطور علم طبيعي ما، عندما يكون أول ما يعمله فردٌ أو مجموعة هو تأليف فكرة قادرة على اجتذاب معظم المشتغلين من الجيل التالي، فإن ما

(9) لا بد من ملاحظة أن قبول نظرية فرانكلين لم ينه الجدل تماماً. ففي عام 1759 اقترح روبرت سيمر (Robert Symmer) نسخة عن تلك النظرية فيها فكرة وجود سائلين. وظل الكهربائيون بعد ذلك، ولسنين عديدة منقسمين حول ما إذا كانت الكهرباء عبارة عن سائل وحيد أو سائلين. لكن المجادلات حول هذا الموضوع تؤكد ما قلناه أعلاه عن الطريقة التي توحّد بها المهنة إنجازاً معترفاً به عالمياً. ومع أن الكهربائيين بقوا منقسمين حول هذه النقطة لكنهم سرعان ما استنتجوا أن لا وجود لفحوص اختبارية تقدر أن تميز بين نسختي النظرية، ولذا فهم متعادلون. وبعد ذلك استطاعت المدرستان، وفعلياً استغلتا الفوائد التي وفرتها نظرية فرانكلين. انظر: المصدر نفسه، ص 543-546 و548-554.

(10) انظر: Bacon, *The Works of Francis Bacon*, p. 210.

[19] يحصل هو أن المدارس القديمة تختفي اختفاءً تدريجياً. وبعض علّة اختفائها يَمْثُلُ في تحوّل أعضائها إلى البراديغم الجديد. ولكن، دائماً ما يظل هناك بعض الأفراد الذي يتشبث بواحد أو آخر من وجهات النظر القديمة، وهذا البعض يصبح، وبكل بساطة، خارج المهنة التي تتجاهل عملهم في ما بعد. وإن البراديغم الجديد يتضمن تعريفاً جديداً وأكثر صرامة لحقل البحث. وجميع الذين لا يرغبون ولا يقدرون على التكيف بعملهم معه، عليهم أن يستمروا في ما هم فيه، معزولين، أو أن يرتبطوا بمجموعة أخرى(11). والتاريخ يفيد بأنهم غالباً ما مكثوا في دوائر الفلسفة التي كانت بمثابة مفقسة للعلوم الخاصة. وكما تلمّح هذه الدلائل، فإن ما يحدث أحياناً هو أنّ تلقّي مجموعةٍ لبراديغم، في حد ذاته، يحولها من مجموعة معنية فقط بدرس الطبيعة إلى مهنة أو إلى نظام على الأقل. وفي مجال العلوم (وليس في ميادين أخرى كالطب، والتكنولوجيا، والقانون، التي يَمْثُلُ وجودها في حاجة اجتماعية

(11) يوفر لنا تاريخ الكهرباء مثلاً ممتازاً يتأكد قي تواريخ حياة بريستلي (Priestley) وكلفن (Kelvin) وآخرين. ويكتب فرانكلين أن نوليت (Nollet) الذي كان الأكثر نفوذاً بين كهربائي القارة في منتصف القرن «عاش ليرى نفسه الأخير في فرعه، باستثناء السيد ب. تلميذه وطالبه المباشر»، انظر: Benjamin Franklin, *Memoirs*, Parallel Text ed. (Berkeley: [University of California Press], 1949), pp. 384-386.

وكان الأكثر إثارة للاهتمام هو بقاء مدارس برمتّها في عزلة متزايدة عن العلم الاحترافي. فلتفكرْ، على سبيل المثال، بقضية التنجيم الذي كان جزءاً لا يتجزأ من علم الفلك. أو، لتفكر بالتقليد المحترم السابق الخاص بالكيمياء «الرومانسية» واستمرارها في أواخر القرن الثامن عشر وأوائل القرن التاسع عشر. وهو هذا التقليد الذي ناقشه تشارلز (Charles) في: Charles C. Gillispie: «The Formation of Lamarck's Evolutionary Theory,» *Archives Internationales d'Histoire des Sciences* (Roma), no. 37 (1956), pp. 323-338, and «The Encyclopedia and the Jacobin Philosophy of Science: A Study in Ideas and Consequences,» in: Marshall Clagett, ed., *Critical Problems in the History of Science; Proceedings* (Madison, Wis: [University of Wisconsin Press], 1959), pp. 255-289.

خارجية)، يكون تكوين مجلات اختصاصية، وتأسيس جمعيات اختصاصيين، وطلب مكانة خاصة في منهاج التعليم، مرتبطاً عادة بأول تلقّي المجموعة براديغمَ مفرداً. وكانت هذه هي الحال على الأقل منذ قرن ونصف في الفترة الممتدة ما بين أول تطور للنمط المؤسساتي للاختصاص العلمي والزمن الحديث جداً عندما أحرزت ممتلكات ومعدات التخصص من شهرة خاصة بها.

ثمة نتائج أخرى لتعريف المجموعة العلمية الأكثر صرامة. فعندما يسلّم عالمٌ فردٌ ببراديغم ويقبله، لا يعود بحاجة، في أعماله الرئيسة، إلى بناء حقل عمله من جديد، بادئاً بالمبادئ الأولى ومبرراً استعماله لكل تصور تم إدخاله. فذلك العمل متروك لواضع الكتب الدراسية. غير أنه في حال وجود كتاب دراسي، يمكن العالم المبدع أن يبدأ بحثه من نهاية الكتاب، وهكذا يركز فكره ويحصره في النظر في نواحي الظواهر الطبيعية الأكثر دقة وغموضاً والتي تهمّ مجموعته. وفيما هو ماض في عمله، تبدأ بيانات بحثه بالتغير بطرق قلما درس تطورها، إلا أن نتائجها الحديثة الأخيرة كانت واضحة للجميع وقاسية على كثيرين. ولن تتجسد أبحاثه، كما جرت العادة، في كتب تخاطب أي إنسان ذي اهتمام بمادة الحقل المعرفي، مثل كتاب فرانكلين الذي عنوانه: **تجارب... على الكهرباء**، أو كتاب داروين (Darwin) ذي العنوان: **أصل الأنواع**. وعوضاً عن ذلك، سوف تظهر على صورة مقالات مختصرة تخاطب الزملاء الاختصاصيين وحدهم، أي الأفراد المشاركين بمعرفة البراديغم والذين أثبتوا أنهم الوحيدون القادرون على قراءة الأوراق الموجهة إليهم.

[20] واليوم، تكون كتب العلوم عادة إما كتباً مدرسية أو أفكاراً تستعرض ناحيةً ماضية أو أخرى من الحياة العلمية. والعالم الذي يؤلف أحد تلك الكتب غالباً ما يجد أن شهرته المهنية قد ضعفت

أكثر من كونها قد تعززت. وليس إلا في المراحل الأولى السابقة لظهور البراديغم من مراحل تطور مختلف العلوم، حيث يكون الكتاب حائزاً على علاقة بالإنجاز المهني هي عينها العلاقة التي لا يزال يحتفظ بها في حقول إبداعية أخرى. وفي تلك الحقول فقط، التي لا تزال مستبقية استعمال الكتاب، مع المقالة أو من دونها، كسيارة لنقل البحوث، ظلت خطوط المهنية غير مشدودة بحيث يمكن الإنسان العادي أن يأمل بمتابعة التقدم عن طريق قراءة تقارير العاملين الاختصاصيين الأصلية. وأما في علمي الرياضيات والفلك، فقد توقفت تقارير البحوث، ومنذ القدم، عن أن تكون مفهومة من قبل مستمعين ذوي ثقافة عمومية. وكذلك، في الديناميكا حصل شيء مماثل في أواخر العصور الوسطى، ولم يمكن فهمها فهماً عاماً وقليلاً إلا في أوائل القرن السابع عشر عندما حل براديغم جديد محل البراديغم الذي كان دليل البحث في تلك العصور. وابْتُدِىء بشرح البحث الكهربائي للإنسان العادي قبل نهاية القرن الثامن عشر، كما أن معظم الحقول الأخرى لعلم الفيزياء لم يعد تحصيلها العمومي ممكناً في القرن التاسع عشر. وفي غضون هذين القرنين حصلت [21] شروح معزولة مشابهة في شتى أقسام العلوم البيولوجية. وهي جارية اليوم في أقسام من العلوم الاجتماعية. وبالرغم من الأسف المحقّ والمألوف على حصول توسيع للهوة التي تفصل العالم المهني عن زملائه في حقول أخرى للمعرفة، فقد قلّ الانتباه إلى العلاقة الجوهرية القائمة بين تلك الهوة وآليات التقدم العلمي الداخلية.

ومنذ زمن ما قبل التاريخ القديم، اجتازت حقول الدراسة، واحدها بعد الآخر، الحدَّ الفاصل بين ما يمكن المؤرخ أن يدعوه علم ما قبل التاريخ والعلم التاريخي بالمعنى الدقيق. وقلّما كانت هذه التحولات نحو النضج مفاجئة أو واضحة على الصورة التي يمكن أن

تكون قد تضمنتها مناقشتي التخطيطية التي كان لا بد منها. لكن لم تكن تلك الحقول متدرجة تدرجاً تاريخياً، ولا كان امتدادها موازياً للتطور الإجمالي في الحقول التي حدثت في وسطها. فقد كان في حوزة الذين كتبوا عن الكهرباء خلال العقود الأربعة الأولى من القرن الثامن عشر معلومات عن الظواهر الكهربائية أوسع بكثير مما كان لدى أسلافهم في القرن السادس عشر. وفي غضون نصف القرن الذي تلا عام 1740، أضيفت أنواع جديدة من الظواهر الطبيعية إلى لوائح معلوماتهم. ومع ذلك فقد ابتعدت الكتابات عن الكهرباء التي وضعها في الثلث الأخير من القرن الثامن عشر كافيندش (Cavendish) وكولومب (Coulomb) وفولتا (Volta)، ومن نواح مهمة، عن كتابات غراي ودو فاي (Du Fay) وحتى فرانكلين، وكان ابتعادها أكبر من ابتعاد كتابات هؤلاء المكتشفين الكهربائيين في أوائل القرن الثامن عشر عن كتابات القرن السادس عشر[(12)]. وفي وقتٍ ما بين عامي 1740 و1780، صار الكهربائيون، ولأول مرة، قادرين على التسليم بأسس حقل عملهم. ومنذ ذلك الحين اندفعوا إلى درس مشكلات أكثر مادية وغموضاً، ومن ثمَّ سجلوا، وبصورة متزايدة، نتائجهم في مقالات موجهة إلى كهربائيين آخرين، وليس في كتب موجهة لعالم المتعلمين الواسع. وقد أنجزوا كمجموعة ما كان قد [22]

---

(12) وتشمل التطورات ما بعد الفترة الفرانكيلينية زيادة عظيمة في حساسية دكاترة الشحنة الكهربائية، وأول تقنيات قياس الشحنة الموثوقة عموماً، ونشوء تصّور للقدرة ولعلاقتها بمفهوم جديد واضح للتوتّر الكهربائي، والوصف الكلي لقوة الكهرباء الساكنة. انظر: Roller and Roller, *The Development of the Concept of Electric Charge; Electricity from the Greeks to Coulomb*, pp. 66-81; W. C. Walker, «The Detection and Estimation of Electric Charges in the Eighteenth Century,» *Annals of Science* (Philadelphia), vol. 1 (1936), and Edmund Hoppe, *Geschichte der elektrizität* (Leipzig: [J. A. Barth], 1884), part I, chaps. iii-iv.

حصّله الفلكيون في القدم، ودارسو الحركة في العصور الوسطى، وعلم البصريات الطبيعية في أواخر القرن السابع عشر، والجيولوجيا التاريخية في أوائل القرن التاسع عشر. أي إنهم أنجزوا براديغماً قادراً على أن يكون دليلاً لأبحاث المجموعة برمّتها. ولولا فائدة استذكار الماضي، لكان من العسير إيجاد معيار آخر يعلن، وبوضوح، عن ميدانٍ علمي.

III

طبيعة العلم العادي

إذاً، ما هي طبيعة البحث الأكثر مهنية واختصاصاً، الذي يتيحه تلقّي مجموعة من العلماء لبراديغم واحد؟ وإذا كان البراديغم يمثل عملاً تمَّ للمرّة الأخيرة، فما هي المشكلات الأخرى التي يتركها ذلك البراديغم لتلك المجموعة المتَّحدة لكي تجد لها حلولاً؟ وتبدو هذه الأسئلة أكثر إلحاحاً إذا ما لحظنا الآن أن ناحية من النواحي استعملت فيها المصطلحات حتى الآن بشكل مضلّل. ففي استعماله القائم، يفيد البراديغم معنى «المثال» أو «النمط»، وقد مكنتني تلك الناحية من معناه، وأنا مفتقر إلى كلمة أفضل، من أن أستفيد من كلمة «براديغم»، هنا. لكن سوف يتوضح بعد قليل أن المعنى الذي أجاز هذا الاستعمال في كلمة «مثال» وكلمة «نمط»، ليس هو المعنى المألوف في عملية تعريف «البراديغم». ففي قواعد اللغة اللاتينية، على سبيل المثال، تؤلف هذه المجموعة (amo, amas, amat)، براديغمَ، لأنها تعرض النمط الذي يجب استعماله عند تصريف عدد كبير من أفعال لاتينية أخرى، مثلاً، في إنتاج (laudo, laudas, laudat). ففي هذا التطبيق المعياري، يقوم البراديغم بوظيفة السماح

بتوليد نسخ لأمثلة يمكن كل واحد منها أن يحل مبدئياً محل الآخر. لكن في المقابل، قلما يكون براديغم العلم قابلاً للاستنساخ. وعوضاً عن ذلك سوف يكون، مثل قرار قضائي تمت الموافقة عليه في القانون العام، مادة لصياغة أوسع ولتحديدات، وذلك تحت شروط جديدة أو شروط أكثر صرامة.

ولكي نرى كيف يمكن أن يكون هذا الأمر على هذا النحو، ما علينا إلا أن ندرك المحدودية الكبيرة للبراديغم عند ظهوره الأول، من حيث نطاقه ودقته. وتكتسب البراديغمات مرتبتها لأنها أكثر نجاحاً من منافساتها في حلّ مشكلات قليلة انتهت مجموعة من المشتغلين إلى الإقرار بكونها حادّة. يكون البراديغم أكثر نجاحاً من سواه، فليس معنى ذلك أن يحقق نجاحاً كاملاً في حل مشكلة، أو أن ينجح نجاحاً بارزاً في حل أي عدد أكبر من المشكلات. إن نجاح البراديغم ـ سواء أكان تحليل أرسطو للحركة، أم الحسابات التي قام بها بطليموس لمواضع الكواكب، أم استعمال الميزان من قِبَل لافوازييه، أم الصياغات الرياضية التي وضعها ماكسويل للحقل الكهرمغناطيسي ـ كان يَمْثُلُ، في أول الأمر، وبدرجة كبيرة، في وعد بالنجاح يمكن اكتشافه في أمثلة منتقاة ولا تزال غير مكتملة. فالعلم [24] العادي يكمن في تحقيق ذلك الوعد، تحقيقاً يكون بتوسيع المعرفة بتلك الحقائق التي يعرضها البراديغم على أنها موحية على نحو خاص، وكذلك بزيادة مقدار المطابقة بين تلك الحقائق وتنبؤات البراديغم، وبواسطة صياغة أوسع للبراديغم ذاته.

وخارج دائرة المشتغلين في علم مكتمل، فإن قليلاً من الناس يدرك مقدار العمل من ذلك النوع الذي يخلّفه البراديغم، ويقتضي إتمامه، أو كم سيكون لافتاً مثل هذا العمل في مجرى تنفيذه. وهذه النقاط تتطلب أن تكون مفهومة. فعمليات إتمام العمل هي الشغل الشاغل لمعظم العلماء طيلة حياتهم المهنية. وهي تؤلف ما أدعوه هنا

العلم العادي. وإذا ما فحص ذلك المشروع عن كثب، سواء في التاريخ أم في المختبر العلمي المعاصر، فإنه سيبدو محاولة لإدخال الطبيعة قسراً في الصندوق المشكَّل سلفاً، والجامد نسبياً، الذي وفّره البراديغم. فليس في هدف العلم العادي تقديم أنواع من الظواهر جديدة، بل إن الذي يحصل هو أن تلك الظواهر التي لا يمكن إدخالها في الصندوق لا تُرى إطلاقاً. ولا يهدف العلماء عادة إلى إبداع نظريات جديدة، كما أنهم يكونون غالباً غير متساهلين تجاه النظريات التي يبدعها الآخرون[1]. وعوضاً عن ذلك، فإن هدف البحث العلمي العادي هو صياغة تلك الظواهر والنظريات التي سبق للبراديغم أن وفّرها.

ربما كانت هذه عيوباً. فمجالات بحث العلم العادي، هي بالطبع صغيرة جداً. والمشروع الذي هو قيد المناقشة الآن قد وضع حدوداً قاسية للرؤية. غير أن تلك الحدود الناشئة عن الثقة بالبراديغم كانت جوهرية لتطور العلم. فبتركيز الانتباه على مجال من المشكلات الخاصة نسبياً، يُلزم البراديغم العلماء بدرس جانب من جوانب الطبيعة بتفصيل وعمق لم يكن تصور حصولهما بغيره. وللعلم العادي آلية في بنيته تؤمّن تخفيف قساوة الحدود التي تحصر البحث، وذلك عندما يتوقف البراديغم الذي استمدت منه عن العمل بكفاءة. وحالتئذ يبدأ العلماء بالسلوك على نحو مختلف، كما تتغير طبيعة مشكلات بحثهم. في الوقت نفسه، وخلال فترة نجاح البراديغم، تكون المهنة [25] قد حلت مشكلات قلما خطرت في بال العاملين فيها، وما كانوا لينجزوها إطلاقاً، من دون الالتزام بالبراديغم. وإن جزءاً من ذلك الإنجاز، على الأقل، أثبت قدرته على البقاء.

---

(1) انظر: Bernard Barber, «Resistance by Scientists to Scientific Discovery,» *Science*, vol. 134, issue 3479 (September 1961), pp. 596-602.

ولكي أعرض بوضوح أكثر ما هو المقصود بالبحث العادي أو البحث المؤسس على براديغم، دعني الآن أحاول تصنيف المشكلات التي يتألف منها العلم العادي بصورة رئيسة، ثم شرحها. ومن المناسب أن أؤجل مسألة النشاط النظري وأبدأ بالنظر في مسألة جمع الوقائع، أي بالتجارب والمشاهدات التي يجري وصفها في المجلات التقنية والتي عَبْرها ينقل العلماء إلى زملائهم المهنيين الأخبار عن النتائج التي توصلت إليها أبحاثهم المستمرة. فعن أي جوانب الطبيعة يكتب العلماء في العادة؟ وما الذي يحدد خياراتهم؟ ثم، لما كان معظم المشاهدات العلمية يستغرق وقتاً طويلاً، ويستهلك معدات ومالاً ووقتاً أكبر، فما الذي يدفع العالِم ليتابع اختياره حتى الوصول إلى نتيجة ما؟

ثمة، وكما أرى، ثلاث بؤر عادية للبحث العلمي الواقعي، وهي ليست متمايزة دائماً ولا بشكل مستمر. وأولها ذلك الصنف من الوقائع الذي بيّن البراديغم أنه يكشف، وبصورة خاصة، عن طبيعة الأشياء. وباستخدام البراديغم لهذا الصنف في حل المشكلات، بدت للبراديغم مستحقة التحديد بدقة أكثر، وفي أنواع من الأوضاع أوسع. وفي وقت من الأوقات، شملت هذه التحديدات للوقائع المهمة ما يلي: في علم الفلك ـ مواضع النجوم وحجومها، والفترات الزمنية التي يستغرقها كسوف النجوم الثنائية والكواكب، وفي الفيزياء ـ الأوزان النوعية للمواد وقدرتها على الانضغاط، ثم أطوال الموجات، وشدّات الأطياف، والتوصيلات الكهربائية، والطاقة الكامنة للتلامس، وفي الكيمياء ـ التركيب وأوزان الاتحاد الكيميائي، ودرجات غليان المحاليل وحموضتها، ثم المعادلات البنيوية، والنشاطات البصرية. وكانت مساعي زيادة الدقة والنطاق اللذين عرفت بهما مثل تلك الوقائع قد شغلت جزءاً مهماً من أدبيات علم التجريب والمشاهدة. ومرة بعد اخرى، كان يتم تصميم جهاز لتحقيق مثل تلك

[26] الأهداف، كما تطلب إبداع وبناء وتحريك ذلك الجهاز موهبة من المرتبة الأولى، ووقتاً طويلاً، ودعماً مالياً ضخماً. وما أجهزة السنكروتون (المُسرّعات التزامنية) والتلسكوبات اللاسلكية إلا مثلين، هما الأقرب إلى وقتنا، عن الجهد الذي يبذله الباحثون إذا أكد لهم البراديغم أن الوقائع التي يبحثون عنها هي وقائع مهمة. وفي الفترة الممتدة من تايكو براهي (Tycho Brahe) إلى إ. أُ. لورانس (E. O. Lawrence)، أحرز بعض العلماء شهرة عظيمة، ولم يكن ذلك مردّه إلى أي جديد في مكتشفاتهم، وإنما بسبب الدقة، والصدقية، ومجال تطبيق المناهج التي طوروها بغية إعادة تحديد نوع من الوقائع المعروف سابقاً.

وهناك صنف ثان، معروف لكنه أصغر، ويشمل التحديدات الوقائعية الموجهة إلى تلك الوقائع التي يمكن مقارنتها مباشرة مع التنبؤات المستمدة من نظرية البراديغم، مع أنها غالباً ما تكون مفتقرة إلى الأهمية في صميمها. وكما سنرى بعد قليل، وعندما أتحول من الكلام على المشكلات التجريبية إلى الكلام على المشكلات النظرية الخاصة بالعلم العادي، فإن هناك، وبحالة نادرة، مناطق عديدة يمكن فيها مقارنة نظرية علمية مقارنة مباشرة مع الطبيعة، بخاصة إذا صيغت النظرية بصورة رياضية كانت سائدة من قبل. ولم يبق من مثل هذه المناطق سوى ثلاث في متناول النظرية النسبية العامة لإينشتاين(2). وأكثر من ذلك، وحتى في تلك المناطق حيث يمكن تطبيق النظرية،

(2) ونقطة الفحص المزمنة الوحيدة والمعروفة عموماً هي تقدّم أقرب نقطة للكوكب عطارد من الشمس. وإن الانتقال الأحمر في طَيْف الضوء من النجوم النائية يمكن اشتقاق شرحه من أفكار أولية أكثر من النظرية النسبية العامة، ويمكن الشيء نفسه بالنسبة إلى ظاهرة إنحناء الضوء حول الشمس، وهذة فكرة لا تزال قيد الجدل الآن. وفي أي حال، فإن قياسات الظاهرة الأخيرة لا تزال غامضة. وهناك نقطة فحص إضافية تم بناؤها حديثاً: وهي =

فغالباً ما كانت تتطلب تقريبات نظرية وعملية تحد بشدة من تطابقها المتوقع. إن تحسين ذلك التطابق أو إيجاد مناطق جديدة يمكن إثباته فيها يقدم تحدياً ثابتاً لمهارة وخيال التجريبي والمشاهد. وإن التلسكوبات الخاصة التي صنعت لإثبات تنبؤ كوبرنيكوس عن اختلافات المنظر السنوية في مواضع النجوم، وآلة أتوود (Atwood) التي اخترعت بعد انقضاء عام تقريباً على تأليف كتاب: **المبادئ** (*Principia*) للعالم نيوتن، بهدف تقديم أول برهان واضح على صحة قانون نيوتن الثاني، ثم جهاز فوكو (Foucault) المصنوع لتبيان أن سرعة الضوء في الهواء أكبر من سرعته في الماء، أو كعدّاد التلألؤ [27] العملاقة، المصمم للبرهان على وجود النيوترينو (Neutrino)، هذه الأجهزة الخاصة، وقرينها كثير، توضح الجهد العظيم والعبقرية اللذين لزما لتقريب الطبيعة والنظرية تدريجياً من حالة التطابق(3). إن تلك

= انتقال إشعاع جاذبية موسبوير (Mossbauer) وقد لا يطول الوقت لاكتشاف ظواهر أخرى في هذا الميدان الناشط الآن والذي طال زمن نومه. وللحصول على وصف دقيق للمسألة، انظر: L. I. Schiff, «A Report on the NASA Conference on Experimental Tests of Theories of Relativity,» *Physics Today* (New York), vol. 14 (1961), pp. 42-48.

(3) للاطلاع على التلسكوبين المختلفي المنظر، انظر: Abraham Wolf, *History of Science, Technology, and Philosophy in the Eighteenth Century*, History of Science Library, 2nd ed. rev. by D. McKie (London: [Allen and Unwin], 1952), pp. 103-105.

حول آلة أتوود، انظر: Norwood Russell Hanson, *Patterns of Discovery; an Inquiry into the Conceptual Foundations of Science* (Cambridge, Ma: [Cambridge University Press], 1958), pp. 100-102 and 207-208.

أما بخصوص آخر قطعتين من الجهاز الخاص، انظر: M. L. Foucault, «Methode générale pour mesurer la vitesse de la lumière dans l'air et les milieux transparants. Vitesses relatives de la lumière dans l'air et dans l'eau. Projet d'expérience sur la vitesse de propagation du calorique rayonnant,» *Comptes rendus de l'académie des sciences* (Paris), vol. 30 (1850), pp. 551-560, and C. L. Cowan, Jr., «Detection of the Free Neutrino: A Confirmation,» *Science*, vol. 124, issue 3212 (1956), pp. 103-104.

المحاولة لإثبات التطابق هي نوع ثانٍ من العمل التجريبي العادي، اعتمادها على البراديغم أوضح من اعتماد النوع الأول. فالبراديغم هو الذي يعدّ المشكلة المراد حلها، وغالباً ما تكون نظرية البراديغم داخلة، وبشكل مباشر، في تصميم الجهاز القادر على حل المشكلة. فمن دون كتاب **المبادئ**، مثلاً، لكانت القياسات التي أجريت بواسطة آلة أتوود عديمة المعنى.

وهناك صنف ثالث من التجارب والمشاهدات يستنفد، باعتقادي، نشاطات جمع الوقائع في العلم العادي. وهو يتألف من العمل الحسي المنجز بهدف صياغة نظرية البراديغم، وحل بعض نواحي الغموض المتبقّية والسماح بحل مشكلات جرت الإشارة إليها سابقاً. وقد أثبت هذا الصنف أنه الأهم من الأصناف الأخرى كلها، ووصفه يتطلب تفريعه. ففي العلوم الأكثر علاقة بالرياضيات، يتم توجيه بعض التجارب التي هدفها الصياغة إلى تحديد الثوابت الفيزيائية، فقد بيّن كل عمل نيوتن على سبيل المثال أن التجاذب بين وحدتين من الكتلة تفصل بينهما وحدة مسافة هي قوة ثابتة لكل أنواع المادة، وفي كل الأوضاع في الكون. لكن مشكلاته الخاصة يمكن حلها من دون حساب مقدار هذا التجاذب، أي ذلك الثابت التجاذبي العالمي، ولم يبتدع أحد سواه جهازاً قادراً على تحديده لمدة قرن من الزمان بعد ظهور كتاب: **المبادئ**. ولم يكن التحديد المشهور الذي قام به كافيندش (Cavendish) في تسعينيات القرن الثامن عشر آخر المحاولات. وبما أنه يحتل مكاناً مركزياً في النظرية الفيزيائية، فقد جرت منذئذ محاولات متكررة لتحسين قيم ثابت الجاذبية، قام بها عدد من التجريبيين البارزين[4]. وهناك أمثلة عن عمل مستمر [28]

(4) وقد أجرى ج. هـ. بوينتنغ (J. H. P[oynting]) مراجعات لحوالي أربعة وعشرين قياساً لثابت الجاذبية بين العامين 1741 و1901 في: «Gravitation Constant and Mean =

مماثل شمل تحديدات الوحدة الفلكية، ولعدد أفوغادرو (Avogadro)، ولمُعامل جول (Joule)، ولقيمة الشحنة الإلكترونية... إلخ. قليل من هذه المحاولات كان تصورها ممكناً، ولكن ما كان أي منها ممكناً إجراؤه من دون نظرية براديغم تحدد المشكلة وتضمن وجود حلٍّ مستقر.

غير أن المحاولات لصياغة براديغم لم تكن مقتصرة على تحديد قيم الثوابت الكونية. إذ يمكن أيضاً أن تستهدف، على سبيل المثال، الوصول إلى قوانين كمية: فقانون بويل (Boyle) الذي ينشئ علاقة بين ضغط الغاز وحجمه، وقانون كولومب (Coulomb) الخاص بالتجاذب الكهربائي، ومعادلة جول التي تربط بين الحرارة المتولدة وبين المقاومة والتيار الكهربائيين، كلها يدخل في هذا الصنف. وقد لا يكون واضحاً أن براديغمَ ما هو شرط ضروري يجب أن يتقدم اكتشاف قوانين كهذه. إذ غالباً ما نسمع بأن الوقوع عليها يكون بواسطة درس القياسات المنجزة لذاتها ومن دون التزام نظري. غير أن التاريخ لا يقدم ما يدعم منهجاً كهذا المنهج البيكوني المتطرف. فلم يمكن تصور تجارب بويل (ولو أمكن تصورها لكان لها تفسير آخر أو لظلت بلا تفسير) قبل الإقرار بأن الهواء عبارة عن سائل مرن يمكن أن تطبق عليه الأفكار التفصيلية كلها لعلم سكون السوائل (الهيدروستاتيكا)[5].

Density of the Earth,» in: *Encyclopaedia Britannica*, 11th ed. (Cambridge, MA: [n. = pb.], 1910-1911), vol. XII, pp. 385-389.

(5) وللحصول على تحويل التصورات الهيدروستاتيكية إلى ظواهر الهواء المضغوط، انظر: Blaise Pascal, *The Physical Treatises of Pascal: The Equilibrium of Liquids and the Weight of the Mass of the Air*, Translated by I. H. B. and A. G. H. Spiers; with an Introduction and Notes by Frederick Barry, Records of Civilization, = Sources and Studies; no. XXVIII (New York: [Columbia University Press], 1937).

وقد اعتمد نجاح كولومب على بنائه جهازاً خاصاً لقياس القوة بين شحنات كهربائية نقطية. (أما أولئك الذين قاسوا القوى الكهربائية، من قبل، مستخدمين الميزان العادي ذا الكفتين، وما شابه، فقد أخفقوا إخفاقاً مطلقاً في اكتشاف علاقة منتظمة ومنسجمة أو بسيطة). إلا أن ذاك الجهاز المصمم، اعتمد بدوره على الإدراك المسبق بأن كل جزء من السائل الكهربائي يؤثر في كل جزء آخر من بُعد. والقوة الناشئة بين مثل تلك الأجزاء هي التي كان يبحث عنها كولومب ـ وهذه القوة هي القوة الوحيدة التي يمكن افتراض كونها ذات علاقة بسيطة بالمسافة، وذلك من دون خطأ[6]. ويمكن أيضاً استخدام [29] تجارب جول كمثل توضيحي عن كيفية نشوء القوانين الكمية عبر صياغة البراديغم. والواقع أن العلاقة بين البراديغم الكيفي والقانون الكمي كانت على درجة كبيرة من العمومية والقرابة، حتى إنّ مثل تلك القوانين، ومنذ غاليليو، أمكن تخمينها، وبصورة صحيحة، بعونٍ من البراديغم، وذلك قبل التمكّن من تصميم جهاز بهدف تحديدها التجريبي[7].

وأخيراً، هناك نوع ثالث من التجربة هدفه صياغة براديغم. وهذا النوع يشبه أكثر من سواه الاستكشاف، وكان سائداً بصورة خاصة في

= الإدخال الأصلي لتشبيه توريشيلي (Torricelli) «نحن نعيش غارقين قاع محيط من عنصر الهواء». انظر ص 274 ـ 275 من هذا الكتاب. وقد عرض تطوره السريع في المقالتين الرئيستين الاثنتين.

(6) Duane Emerson Roller and Duane H. D. Roller, *The Development of the Concept of Electric Charge; Electricity from the Greeks to Coulomb*, Harvard Case Histories in Experimental Science; Case 8 (Cambridge, MA: [Harvard University Press], 1954), pp. 66-80.

(7) إذا أردت أمثلة، انظر: Thomas S. Kuhn, «The Function of Measurement in Modern Physical Science,» *Isis* (Chicago), vol. 52 (1961), pp. 161-193.

تلك الفترات الزمنية والعلوم التي تُعنى أكثر ما تعنى، بالتعامل مع النواحي الكيفية لا الكمية لنظام الطبيعة. وغالباً ما يكون تطبيق براديغم أنشئ لمجموعة واحدة من الظواهر غامضاً على مجموعة أخرى وثيقة العلاقة بالمجموعة الأولى. وعندئذ لا بد من إجراء تجارب لاختيار أحد خيارات تطبيق البراديغم على منطقة الاهتمام الجديدة. فعلى سبيل المثال، كانت تطبيقات براديغم النظرية الحرارية على التسخين والتبريد، بواسطة المزج وتغيير الحالة. لكن الحرارة يمكن إطلاقها أو امتصاصها بطرق عديدة أخرى ـ مثلاً، بواسطة الاتحاد الكيميائي، وبالاحتكاك، وبواسطة ضغط غاز أو امتصاصه ـ وعلى أي من هذه الظواهر الأخرى، يمكن تطبيق النظرية بأشكال عدة. فلو كان للخلاء (للفراغ) قدرة حرارية، مثلاً، فإن التسخين عن طريق الضغط يمكن شرحه بأنه ناجم عن مزج الغاز بالفراغ. أو أنه يرجع إلى تغيير في الحرارة النوعية للغازات المرافق لتغيير الضغط. وثمة شروح أخرى عديدة بالإضافة إلى ما تقدم. وقد أجريت تجارب عديدة بقصد شرح تفصيلي لهذه الممكنات المختلفة، وللتمييز بينها، وقد صدرت هذه التجارب كلها عن النظرية الحرارية باعتبارها براديغمَ، وكلها استغل البراديغم في تصميم التجارب وفي تفسير [30] النتائج الحاصلة(8). فيما أن تأسست ظاهرة التسخين بواسطة الضغط، حتى صارت التجارب الأخرى، التي أجريت في المنطقة ذاتها، كلها عالة على البراديغم بالطريقة نفسها. فكيف يمكن بغير ذلك اختيار تجربة لتشرح ظاهرة موجودة؟

لنتحول الآن إلى المشكلات النظرية للعلم العادي التي تقع،

(8) Thomas S. Kuhn, «The Caloric Theory of Adiabatic Compression,» *Isis*, vol. 49 (1958), pp. 132-140.

تقريباً، في الأصناف ذاتها التي وجدت فيها مشكلات التجريب والمشاهدة. هناك جزء من العمل النظري العادي، يَمْثُلُ، بالرغم من كونه جزءاً صغيراً، في استعمال النظرية الموجودة للتنبؤ بمعلومات واقعية ذات قيمة ذاتية. فصناعة التقويم الفلكي، وحساب خصائص العدسات، وتوليد منحنيات الانتشار اللاسلكي ليست سوى أمثلة من هذا القبيل. غير أن العلماء عموماً يعتبرونها بمثابة عمل ضئيل القيمة العلمية ويجب أن يحوّل إلى المهندسين أو الفنيين. وقلما ظهر الكثير عنها في المجلات العلمية البارزة. غير أن هذه المجلات تحتوي على مناقشات نظرية كثيرة جداً لمشكلات، لا بد أن تبدو مطابقة لها في نظر العالم. تلك كانت استغلالات النظرية، ليس لأن التنبؤات التي أدت إليها كانت ذات قيمة ذاتية، وإنما لإمكان اختبارها مباشرة. والقصد منها هو عرض تطبيق جديد للبراديغم أو لزيادة دقّة تطبيق قد تمّ فعلاً.

إن الحاجة إلى عمل من هذا النوع مصدرها الصعوبات الكبيرة التي غالباً ما تُواجه خلال عملية تطوير نقاط التقاء بين نظرية ما والطبيعة. ويمكن توضيح هذه الصعوبات باختصار بفحص تاريخ علم الديناميكا بعد العالم نيوتن. ففي مطلع القرن الثامن عشر، سلّم العلماء الذين وجدوا براديغمَ في كتاب **المبادئ** بتعميم نتائجه، وكان لهم ما يبرر ذلك. ولا يوجد في تاريخ العلم مؤلف معروف سمح، وبصورة متزامنة، باتساع في مجال البحث وبدقته. أما في ما يختص بعلم الفلك، فقد تمكن نيوتن من اشتقاق قوانين العالم الفلكي كبلر (Kepler) المتعلقة بحركة الكواكب، ومن شرح بعض النواحي المرصودة التي يعصاها القمر. وبالنسبة إلى الأرض فقد اشتق نتائج بعض المشاهدات المبعثرة ذات العلاقة بحركة النواس (Pendulums) وحركة المد والجزر. وبتأييد افتراضات إضافية ومنفردة، تمكن من

[31] اشتقاق قانون العالم بويل، إضافة إلى صيغة مهمة تصف سرعة الصوت في الهواء. وبالنظر إلى حالة العلم في ذلك الزمان، فإن نجاح تلك البراهين كان مدهشاً للغاية. ومع ذلك، فإن عدد هذه التطبيقات لم يكن كبيراً نسبة إلى عمومية قوانين نيوتن المفترضة، كما أن نيوتن لم يطور غيرها تقريباً. وأكثر من ذلك، لم تكن تطبيقات نيوتن القليلة دقيقة إذا ما قورنت بما يستطيع اليوم أي طالب متخرج في الفيزياء أن ينجز باستخدام القوانين ذاتها. وأخيراً، كان كتاب **المبادئ** قد صمم للتطبيق تطبيقاً رئيسياً على مشكلات علم حركات الأجرام السماوية. أما كيفية تكييفه ليصبح صالحاً للاستعمال في التطبيقات الأرضية، وبخاصة على ظواهر الحركة الخاضعة لمقاومة، فلم تكن واضحة بأي شكل. وعلى كل حال، فإن المشكلات الأرضية كان قد تم التصدي لها، بنجاح عظيم، وعن طريق استخدام مجموعة من التقنيات طورها أصلاً كل من العالم غاليليو وهويغنز (Huyghens)، ثم عمت القارة الأوروبية خلال القرن الثامن عشر بفضل العلماء من عائلة برنولي(*) (Bernoullis) والعالم دالمبرت، وكثيرين غيرهم. ومع إمكانية الافتراض بأن تقنياتهم وتقنيات كتاب **المبادئ**، يمكن تبيان كونها حالات خاصة من صيغة أكثر عمومية، لم يعرف أحد كيفية ذلك، ولمدة من الزمن(9).

(*) وهي دانيال (Daniel)، جا (Ja)، وجان (Jean) (المترجم).

(9) انظر: Thomas Hankins, «The Reception of Newton's Second Law of Motion in the Eighteenth Century,» *Archives internationales d'histoire des sciences*, no. 20 (1967), pp. 42-65, and Clifford Truesdell: «A Program Toward Rediscovering the Rational Mechanics of the Age of Reason,» *Archive for History of Exact Sciences* (Berlin; New York), vol. 1 (1960), pp. 3-36, and «Reactions of Late Baroque Mechanics to Success, Conjecture, Error, and Failure in Newton's *Principia*,» *Texas Quarterly* (Austin), vol. 10 (1967), pp. 281-297.

لنحصر انتباهنا وللحظة في مسألة الدقة. وقد سبق أن أوضحنا ناحيتها التجريبية. فقد كانت معدات خاصة ـ مثل جهاز كافيندش، وآلة أتوود، أو التلسكوبات المحسَّنة ـ ضرورية للحصول على معطيات خاصة تطلبتها التطبيقات المادية لبراديغم نيوتن. كما وجدت صعوبات مماثلة لجهة النظرية وتحقيق توافقها. ففي تطبيق نيوتن لقوانينه على ظاهرة النواس مثلاً، اضطر إلى اعتبار كتلته نقطة، وذلك لكي يوفر تعريفاً واحداً لطول النواس. كما أنه تجاهل في معظم نظرياته، باستثناءات قليلة كانت نظرية وتمهيدية، تأثيرات مقاومة الهواء. لقد كانت نظريات فيزيائية تقريبية سليمة. ومع ذلك، ولكونها تقريبية فقد حدّت من التوافق المتوقع بين تنبؤات نيوتن [32] والتجارب الفعلية. وتظهر الصعوبات ذاتها، وبصورة أكثر وضوحاً، في تطبيق نظرية نيوتن على الظواهر السماوية. فالمشاهدات التلسكوبية الحسابية البسيطة تدل على أن الكواكب لا تخضع تماماً لقوانين كبلر، كما أن نظرية نيوتن تدل على عدم وجوب خضوعها. ولكي يتمكن من اشتقاق تلك القوانين، اضطر نيوتن إلى إهمال كل ظواهر الجاذبية، مستثنياً التجاذب بين كل كوكب على حدة والشمس. ولما كانت الكواكب تتجاذب هي أيضاً، فالمتوقع هو حصول توافق تقريبي بين النظرية المطبقة والمشاهدة التلسكوبية(10).

وطبعاً، كان التوافق الذي تم الحصول عليه أكثر من مقنع للذين حققوه. وفيما عدا بعض المشكلات الأرضية، لم تتمكن نظرية أخرى من أن تحقق ما يقارب هذا الإنجاز. ولم يَبْنِ أيٌّ واحدٍ من الذين

(10) انظر: Wolf, *History of Science, Technology, and Philosophy in the Eighteenth Century*, pp. 75-81 and 96-101, and William Whewell, *History of the Inductive Sciences, from the Earliest to the Present Time*, 3 vols., Rev. ed. (London: [J. W. Parker], 1847), vol. 2, pp. 213-271.

شككوا في صحة عمل نيوتن اعتراضه على أساس محدودية توافقها مع التجربة والمشاهدة. وبالرغم من ذلك، فقد خلّفت محدوديات التوافق تلك مشكلات نظرية مثيرة للاهتمام وعديدة للذين جاءوا بعد نيوتن. فعلى سبيل المثال، كان لا بد من وجود تقنيات للتعامل مع حركات أكثر من جسمين متجاذبين في الوقت نفسه، ولدرس ظاهرة استقرار الأفلاك المضطربة للكواكب. وقد شغل مثل هذه المشكلات تفكير العديد من أفضل علماء الرياضيات الأوروبيين خلال القرن الثامن عشر ومطلع القرن التاسع عشر. فالعلماء يولر (Euler)، ولاغرانج (Lagrange)، ولابلاس (Laplace)، وغوس (Gauss) قد ركزوا جميعهم بعض أهم أعمالهم على مشكلات هدفها تحسين التطابق بين براديغم نيوتن ومشاهدة ما يجري في السماء. وقد عمل العديد من هذه الشخصيات بتزامن على تطوير الرياضيات اللازمة للتطبيقات، التي لم يحاول نيوتن السعي إليها ولا المدرسة الأوروبية القاريّة المعاصرة لعلم الحركة. فأنتجوا على سبيل المثال أدباً غزيراً، وبعض الآليات الرياضية الفائقة القوة لعلم حركة السوائل (Hydrodynamics) ولمشكلة الأوتار المهتزة. إن مشكلات التطبيق هذه تشرح ما يمكن اعتباره العمل العلمي الأذكى والأكثر استهلاكاً للجهد في القرن الثامن عشر. وهناك أمثلة أخرى يمكن اكتشافها بواسطة فحص فترة ما قبل البراديغم لعملية تطور الديناميكا الحرارية (Thermodynamics)، أو للنظرية الموجية للضوء، أو للنظرية [33] الكهرمغناطيسية، أو لأي فرع من فروع العلم ذي القوانين الأساسية من النوع الكمي. وعلى الأقل فإن معظم العمل النظري من هذا النوع يمكن الوقوع عليه في العلوم الأكثر اشتمالاً على الرياضيات.

لكن، ليس ذلك كله من هذا النوع. فحتى في العلوم الرياضية توجد أيضاً مشكلات نظرية تختص بصياغة البراديغم صياغة مترابطة

ومتسقة، وقد كانت هذه المشكلات سائدة في الفترات التي كان يغلب خلالها على التطور العلمي الصورة الوصفية (لا الرياضية). وبعض المشكلات، في العلوم الأكثر رياضية والعلوم الأكثر وصفية على السواء، كان يرمي ببساطة إلى التوضيح عن طريق إعادة الصياغة. فكتاب **المبادئ**، على سبيل المثال، لم يكن تطبيقه سهلاً دائماً، ويعود بعض ذلك إلى أن الكتاب استبقى شيئاً من رداءة التأليف التي لا مفر منها، وهي شيمة كل محاولة جريئة أولى، وبعضه الآخر إلى كون الكثير من معناه مضمراً في تطبيقاته. وبالنسبة إلى عدد كبير من التطبيقات الأرضية، فقد بدت، على كل حال، مجموعة غير مترابطة من الآليات الأوروبية أكثر قوة بصورة واسعة. لذلك، حاول الكثير من علماء أوروبا الأكثر ذكاءً، تكراراً إعادة صياغة النظرية الميكانيكية بصورة متعادلة، لكنها أكثر اقناعاً من الوجهتين المنطقية والجمالية، وحصل ذلك ابتداء من العالم يولر والعالم لاغرانج في القرن الثامن عشر إلى العالم هاملتون (Hamilton) وجاكوبي (Jacobi) وهرتز (Hertz) في القرن التاسع عشر. لقد رغب هؤلاء في أن يعرضوا الدروس الصريحة والضمنية في كتاب **المبادئ** وفي علم الميكانيك الأوروبي على صورة نسخة ذات اتساق منطقي أكثر، أي صورة تكون موحدة أكثر وأقل غموضاً في تطبيقها على مشكلات علم الميكانيك التي جرى تفصيلها[(11)].

كما تمت بشكل متكرر في كل العلوم صياغات جديدة مماثلة لبراديغم، لكن معظمها أحدث تغييرات في البراديغم أكثر من تغييرات في الصياغات الجديدة لكتاب **المبادئ** التي ذكرناها في ما

(11) انظر: René Dugas, *Histoire de la mécanique*, préf. de Louis de Broglie, bibliothèque scientifique; 16 (Neuchâtel: [Editions du Griffon], 1950), Books IV-V.

تقدم. وقد نجمت هذه التغييرات من العمل التجريبي الذي كنا قد وصفنا هدفه بأنه صياغة البراديغم صياغة مترابطة ومتسقة. والواقع أن تصنيف ذلك النوع من العمل بأنه تجريبي كان تصنيفاً اتفاقيّاً. فمشكلات صياغة براديغم هي في الوقت نفسه نظرية وتجريبية أكثر من أي نوع من البحث العادي، والأمثلة التي أعطيت سابقاً تفيد هنا جيداً وبالمقدار نفسه. فقبل أن يتمكن العالم كولومب من بناء جهاز واستخدامه في القياسات، كان عليه أن يوظف النظرية الكهربائية [34] لتحديد كيفية بناء ذلك الجهاز. وكانت نتيجة تلك القياسات تحسيناً في تلك النظرية. فالرجال الذين صمموا التجارب للتمييز بين مختلف النظريات المتعلقة بالتسخين بواسطة الضغط هم عموماً الرجال أنفسهم الذين وضعوا صور النسخ التي قورنت. فقد عملوا في مجالي الواقع والنظرية، ولم تكن نتيجة عملهم مجرد الحصول على معلومات جديدة، بل الحصول على براديغم أكثر دقة عن طريق حذف نواحي الغموض التي بقيت في الأصل الذي ابتدأوا منه العمل. ومعظم العمل العادي، في علوم عديدة، هو من هذا القبيل.

هذه الأصناف الثلاثة من المشكلات ـ تحديد الواقعة ذات المعنى، ومطابقة الوقائع مع النظرية، ثم صياغة النظرية ـ تشمل، كما أظن، أدب العلم العادي، التجريبي والنظري على السواء وهي لا تشمل طبعاً كل أدبيات العلم. وثمة مشكلات غير عادية، وحلها يعطي المشروع العلمي، ككل، قيمة خاصة. لكن المشكلات غير العادية لا تُنال بالسؤال. إنها تنشأ فقط في مناسبات خاصة يُعِدّها تقدّم البحث العادي. لذلك لا بد للأغلبية الساحقة من المشكلات التي يعالجها أفضل العلماء أن تندرج في أحد الأصناف المذكورة أعلاه. إن العمل من داخل براديغم لا يكون بغير ذلك السبيل، وإن التخلي عن البراديغم معناه التوقف عن العلم الذي يحدده. وسوف

نكتشف بعد قليل أن حالات مثل ذلك التخلي تحصل فعلاً. فهي المحاور التي تدور الثورات العلمية حولها. ولكن قبل أن نبدأ بدراسة مثل تلك الثورات، لا بد لنا من نظرة شاملة إلى الانشغالات العلمية العادية التي أعدت الطريق.

IV

العلم العادي علم حلّ الأحجيات

ربما كان الملمح الأكثر إلفاتاً من ملامح مشكلات البحث العادي التي واجهناها حتى الآن يَمْثُلُ في قلة استهدافها إنتاج أشياء جديدة سواء أكانت مفاهيمية أم ظواهرية. وأحياناً، وكما في قياس طول الموجة، يكون كل شيء معروفاً سلفاً عن النتيجة باستثناء أكثر التفاصيل غموضاً، ويكون نطاق التوقع البراديغمي وحده أوسع نوعاً ما. فلم يكن هناك من حاجة لأن تنطبق قياسات كولومب على قانون التربيع العكسي، والذين اشتغلوا في مشكلة التسخين بواسطة الضغط كانوا مستعدين للاحتفاء بأي نتيجة من نتائج عدة. ومع ذلك، وحتى في حالات كهذه، كان مدى النتائج المتوقعة، التي يمكن بالتالي تمثّلها، صغيراً على الدوام مقارنة بالمدى الذي يقدر الخيال على تصوره. والمشروع الذي لا يندرج حاصله في داخل ذلك المدى الضيق يكون عادة مجرد فشل في البحث، وخطأ لا يعود إلى الطبيعة بل إلى العالِم.

ففي القرن الثامن عشر، مثلاً، قلما لقيت التجارب التي كانت تقيس التجاذب الكهربائي بواسطة أجهزة مثل الميزان ذي الكفتين

عناية شديدة. ولأنها لم تعطِ نتائج متسقة وبسيطة فإنها لم تستعمل لصياغة البراديغم الذي اشتقت منه. ولذلك ظلت مجرد وقائع غير مترابطة ولا يمكن ربطها بعلاقة مع التقدم المستمر للبحث الكهربائي. وبحوزتنا على براديغم لاحق، تمكّنا، عن طريق العودة إلى الماضي فقط، أن نرى ما تعرضه هذه النتائج من خصائص للظواهر الكهربائية. وبالطبع فقد حاز العالم كولومب ومعاصروه أيضاً على هذا البراديغم المتأخر، أو على براديغم يعطي، عند تطبيقه على مشكلة التجاذب، التوقعات ذاتها. ذلك كان السبب الذي يشرح لماذا كان كولومب قادراً على تصميم الجهاز الذي ولَّد نتيجة يمكن أن تتمثلها صياغة البراديغم. ولكنه كان أيضاً السبب عدم مفاجأة النتيجة أياً من العاملين وفي قدرة العديد من معاصري كولومب على التنبؤ بها مقدماً. وحتى المشروع المستهدف صياغة براديغمٍ ما لم يكن يرمي إلى جديد غير متوقع.

لكن، إذا لم يكن هدف العلم العادي تحصيل أشياء جديدة جوهرية كبيرة ـ أي إذا كان الفشل في مقاربة النتيجة المتوقعة هو، [36] في العادة، فشل العالِم ـ فلماذا تعالج هذه المشكلات إطلاقاً؟ بعض الجواب عن هذا السؤال قد سبق تطويره. فالنتائج المكتسبة في البحث العادي هي مهمة عند العلماء على الأقل، لأنها تزيد من نطاق تطبيق البراديغم ودقته. غير أن ذلك الجواب لا يقدم تعليلاً لحماسة العلماء وتكريسهم اللذين أظهروهما نحو مشكلات البحث العادي. فلا أحد من البشر يكرّس سنوات لتطوير مقياسٍ للطّيف أفضل أو لإنتاج حلٍّ محسَّنٍ لمشكلة الأوتار المهتزة وذلك لمجرد أهمية المعلومات التي سيتم الحصول عليها. كما أن المعطيات التي يمكن اكتسابها من حساب الظواهر الفلكية المتغيرة، أو من قياسات إضافية بواسطة أداة موجودة هي غالباً ما تكون مهمة، لكن تلك

النشاطات يرفضها العلماء على الدوام وبازدراء، لأنها غالباً ما تكون تكرارات لإجراءات سبق القيام بها. وإن ذلك الرفض يوفر دلالة على وجود جاذبية للاهتمام وحب الاستطلاع اللذين لمشكلة البحث العادي. ومع أن حاصل البحث يمكن توقعه، وغالباً ما يكون التوقع بتفصيل واسع بحيث لا يبقى إلا ما لا يثير الاهتمام، فإن الطريق المؤدية إلى تحقيق ذلك الحاصل تظل طريقاً خاضعة خضوعاً كبيراً جداً للشك. إن إيصال مشكلة بحث عادي إلى نتيجة معينة معناه تحقيق المتوقع بطريقة جديدة، وهذا يتطلب حلاً لكل أنواع الأحجيات المعقدة الشاملة للأدوات والأفكار والرياضيات. فمن ينجح يُثبت أنه خبير في حل الأحاجي، وأنّ التحدي الذي تفرضه الأحجية يمثل عادة جزءاً مهماً مما يدفعه إلى متابعة العمل.

إن مصطلَحي، «أحجية» و«حلّال الأحجية» يلقيان ضوءاً على عدد من الأفكار التي أصبحت بارزة بشكل متزايد في الصفحات السابقة. فالمعنى المألوف للأحجيات والمستعمل هنا يفيد ذلك الصنف الخاص من المشكلات الذي يستخدم لاختبار عبقرية أو مهارة في مجال إيجاد الحلول. والأمثلة التي تقدمها المعاجم هي «أحجية الصور المقطعة» و«أحجية الكلمات المتقاطعة»، وما نحتاجه الآن هو تحديد الخصائص التي تشترك بها مثل هذه الأحجيات مع مشكلات العلم العادي، وعزلها عما سواها. وقد ذكرت إحدى هذه الخصائص قبل قليل. وهي أن معيار الجودة في الأحجية لا يَمْثُلُ في أن يكون حاصلها مشتملاً على إثارة ذاتية أو أن يكون مهماً. وعلى العكس من ذلك، فالمشكلات الضاغطة بصورة حقيقية، مثل إيجاد علاج لمرض السرطان أو التصميم لسلام دائم، لا تعد في الغالب [37] أحجيات إطلاقاً، والسبب إلى حدّ كبير في عدم إمكان وجود حلول لها. لنفكر في أحجية الصور المقطّعة التي اختيرت قطعها اختياراً

عشوائياً من صندوقين مختلفين. ومع أن تلك المشكلة قد تتحدى (وقد لا تتحدى) أعظم العباقرة، فهي لا تصلح لأن تكون اختباراً للمهارة في إيجاد حلول. وهي، بأي معنى عادي، ليست أحجية إطلاقاً. فإذا لم تكن القيمة الذاتية معياراً للأحجية، فإن وجود حلّ مؤكد هو معيار لها.

لقد رأينا قبل قليل أن أحد الأشياء التي يكتسبها متَّحد علمي بفضل البراديغم هو معيار اختيار مشكلات يفترض أن يكون لها حلول، من خلال التسليم بالبراديغم. وهذه المشكلات هي، إلى حدّ بعيد، وحدها التي تسمح للمتَّحد العلمي أو تشجع أعضاءه على تعهدها. وهناك مشكلات أخرى، بما في ذلك العديد مما كان يعد عادياً في السابق، هي مرفوضة باعتبارها ميتافيزيقية، أو تخص نظاماً للمعرفة آخر، أو، وهذا يكون أحياناً لأن إشكاليتها تتعدَّى حدود ما تستحقه من وقت. ولذلك يقدر البراديغم على عزل المتَّحد العلمي أيضاً عن تلك المشكلات المهمة اجتماعياً التي لا يمكن اختزالها إلى صورة أحجية، وذلك لعدم إمكانية صياغتها بالمصطلحات الفكرية والأدوات التي يقدم البراديغم مؤونتها. مثل تلك المشكلات يمكن أن يكون انحرافاً في الانتباه، وهو درس شَرَحَتْه شرحاً بارعاً نواحٍ عديدة من مذهب العالم بيكون في القرن السابع عشر وبعض العلوم الاجتماعية المعاصرة. وإن أحد الأسباب التي جعلت العلم العادي يبدو في تقدم بتلك السرعة يكمن في أن المشتغلين فيه يركزون على مشكلات لا يمنعهم من حلها إلا افتقارهم إلى العبقرية ليس إلا.

وعلى كل حال، لو أن مشكلات العلم العادي كانت أحجيات بهذا المعنى، لانتفت حاجتنا إلى السؤال عن سبب هجوم العلماء عليها بمثل تلك العاطفة الجيّاشة والتكريس. فيمكن المرء أن ينجذب إلى العلم لأسباب من كل نوع. ومن بينها الرغبة في أن يكون نافعاً،

والفرحة باكتشاف أرض جديدة، والأمل في الوقوع على نظام، والدافع لاختبار المعرفة القائمة. هذه الحوافز بالإضافة إلى أخرى غيرها، تساعد أيضاً في تحديد المشكلات الخاصة التي ستشغله في ما بعد. وبالرغم من أن النتيجة تكون إحباطاً في بعض الأحيان، يظل هناك سبب مقبول يفسر ظاهرة جذب مثل تلك الدوافع له أولاً، ثم [38] دفعه إلى الاستمرار[1]. إنّ المشروع العلمي بكليته، ومن وقت إلى آخر، هو الذي يبرهن على فائدته، ويفتح أرضاً جديدة، ويقدم عرضاً لنظام، ويمتحن معتقداً كان مقبولاً لمدة طويلة. ومع ذلك، فإن العالِم **الفرد** المنشغل في مشكلة بحث عادي، **يكون غير منشغل بأيّ واحد من هذه الأشياء.** ففي مباشرته عمله، يحفزه نوع آخر من الحوافز. وما يشكل تحدّياً له عندئذ هو إيمانه بأنه سوف ينجح بحل أحجية لم يسبقه إلى حلها أحد قبله، أو وُجِدَ من حلّها ولم يكن الحل بالجودة نفسها، وكل ذلك بشرط أن تتوافر فيه المهارة الكافية، ليس إلا. وإن الكثير من أصحاب العقول العلمية العظمى كرسوا كل اهتمامهم العلمي في طلب أحجيات من هذا النوع. وفي معظم الأحيان، لا يقدم أي حقل خاص من حقول الاختصاص شيئاً آخر للقيام به سوى ذلك، وهذه واقعة لا تقلّ جاذبية لنوع مميز من المكرسين أنفسهم.

لنتحول الآن إلى ناحية أكثر صعوبة وأكثر إيحاءً من نواحي الموازاة بين الأحجيات ومشكلات العلم العادي. فإذا كان لا بد من

---

(1) انظر: يمكن أن تكون الاخفاقات خطيرة أحياناً، نعني تلك التي يسببها النزاع بين دور الفرد والنموذج الإجمالي للتطور العلمي. وحول هذا الموضوع، انظر: Lawrence Kubie: «Some Unsolved Problems of the Scientific Career, I,» *American Scientist*, vol. 41, no. 4 (April 1953), pp. 596-613, and «Some Unsolved Problems of the Scientific Career, II,» *American Scientist*, vol. 42, no. 1 (January 1954), pp. 104-112.

تصنيف مسألة بأنها أحجية، يجب أن تتصف المسألة بأكثر من صفة وجود حلّ مؤكد لها. فيجب أن توجد أيضاً قواعد تحدد طبيعة الحلول التي يمكن قبولها والخطوات الآيلة إلى الحصول عليها. فحلّ أحجية الصور المقطّعة، على سبيل المثال ليس مجرد «صنع صورة». وكل طفل أو كل فنان معاصر يقدر أن يقوم بذلك العمل بنثره قطعاً مختارة على أرض محايدة، وباعتبارها أشكالاً مجردة. ويمكن أن تكون الصورة التي تنتج بهذه الطريقة أفضل بكثير، وتكون بلا شك أكثر أصالة من الصورة التي صنعت منها الأحجية. ومع ذلك، فلم تكن صورة كهذه حلاً. فلتحقيق ذلك يجب أن تستخدم القطع كلها، وأن تقلب أوجهها غير المزينة إلى أسفل، ويجب أن تتشابك تشابكاً لا قسرياً إلى أن تختفي الثقوب. تلك هي بعض القواعد التي تحكم حلول أحجية الصورة المقطّعة. وهناك قيود مماثلة يمكن اكتشافها مباشرة، وهي مفروضة على الحلول التي يمكن القبول بها لأحجيات الكلمات المتقاطعة، والألغاز، ومشاكل الشطرنج وما قارنها.

[39] وإذا كان بمقدورنا أن نقبل استخداماً موسعاً بشكل كبير لمصطلح «قاعدة» ـ استخداماً يساويه أحياناً بمعنى وجهة نظر قائمة، أو بمعنى مفهوم سابق، فحالتئذ، ستعرض المشكلات التي يمكن الوصول إليها في داخل تقليد بحثي ما، مجموعة من الخصائص مثل مجموعة خصائص الأحجيات هذه. فالشخص الذي يبني جهازاً لتحديد أطوال الموجات الضوئية لن يشبع رغبته وجود قطعة من المعدات تقتصر وظيفتها على نسبة أعداد خاصة لخطوط طيف خاصة. فهو ليس مجرد مكتشف أو رجل قياسات. بل على العكس، فما يتوجب عليه هو أن يبين، بتحليله جهازه بواسطة مصطلحات الكيان القائم للنظرية البصرية، أن الأعداد التي أنتجها جهازه هي ما

يدخل في النظرية باسم أطوال موجية. وإذا وحد بينه وبين إكمال البرهان وجود غموض متبقٍّ في النظرية أو مكوِّن لم يحلَّل بعد من مكونات الجهاز، فيمكن أن يستنتج زملاؤه، وبحق، أنه لم يفعل شيئاً إطلاقاً في مجال القياس. فعلى سبيل المثال، لم يكن للنهايات العظمى للتناثر الإلكتروني، التي شخصت مؤخراً على أنها مؤشرات لطول موجة الإلكترون، أي أهمية ظاهرة عندما شوهدت لأول مرة وسجلت. لذا كان من الضروري، وقبل أن تكون قياسات لأي شيء أن تربط بنظرية تنبأت بسلوك للمادة في حركتها مشابه للموجات. وحتى بعد إظهار علاقة الربط تلك، لا بد من إعادة تصميم الجهاز بشكل يمكّن النتائج التجريبية من الترابط الواضح مع النظرية[2]. وقبل تحقيق تلك الشروط لا يكون هناك حل لأي مشكلة.

وهناك أنواع مماثلة من القيود تقيد الحلول التي يمكن قبولها للمشكلات النظرية. فخلال القرن الثامن عشر أخفق، وباستمرار، العلماء الذين حاولوا اشتقاق الحركة المشاهدة للقمر من قوانين الحركة والجاذبية لنيوتن. ونتيجة لذلك، اقترح بعضهم استبدال قانون التربيع العكسي بقانون منحرف عنه في المسافات الصغيرة. ولإنجاز ذلك، كان لا بدّ من تغيير البراديغم، وتعريف أحجية جديدة، وعدم حل المسألة القديمة. ونتيجة لذلك احتفظ العلماء بالقواعد إلى أن اكتشف أحدهم، في عام 1750، كيفية تطبيقها بنجاح[3]. ولم يكن

(2) للحصول على وصف مختصر لتطور هذه التجارب، انظر قراءة ك. ج. دافيسون (C. J. Davisson) في: *Les Prix Nobel en 1937* (Stockholm: [Almqvist and Wiksell International], 1938), p. 4.

(3) William Whewell, *History of the Inductive Sciences, from the Earliest to the Present Time*, 3 vols., Rev. ed. (London: [J. W. Parker], 1847), vol. 2, pp. 101-105 and 220-222.

[40] ذلك ممكناً بغير تغيير قواعد اللعبة القادر على توفير البديل.

إن درس التقاليد العلمية العادية يكشف لنا عن وجود قواعد عديدة إضافية، وهذه توفر معلومات كثيرة عن الالتزامات التي يستمدّها العلماء من براديغماتهم. فماذا نستطيع أن نقول عن الأصناف الرئيسة التي تدخل فيها هذه القواعد؟[4] وإن الأوضح والأكثر تقييداً من هذه الأصناف يتمثل في أنواع التعميمات التي لاحظناها قبل قليل. وهي تعبيرات صريحة عن القانون العلمي وعن التصورات العلمية والنظريات. ومع الاستمرار في تقديرها، فإن مثل تلك التعبيرات يساعد في وضع الأحجيات وفي تحديد الحلول التي يمكن قبولها. وعلى سبيل المثال، أدت قوانين نيوتن تلك الوظائف خلال القرنين الثامن عشر والتاسع عشر. وطالما كانت تقوم بذلك، فإن كمية المادة كانت تشكّل مقولة أنطولوجية لدى العلماء الفيزيائيين، كما أن القوى الفاعلة بين أجزاء من المادة كانت الموضوع الذي يقع في رأس مواضيع البحث[5]. وفي علم الكيمياء، كان لقوانين النسب الثابتة والمحدَّدة، ولمدة طويلة، قوة مماثلة تماماً ـ بوضعها لمشكلة الأوزان الذرية، وتحديدها النتائج المقبولة للتحاليل، وتوفيرها معلومات للكيميائيين عن ماهية الذرات الكيميائية والجزيئيات والمركبات والخلائط[6]. ولمعادلات العالم ماكسويل (Maxwell)

(4) أنا مدين بهذه المسألة لـ و. أُ. هاغستروم (W. O. Hagstrom) الذي يتوافق عمله في علم الاجتماع أحياناً مع عملي.

(5) للاطلاع على هذه النواحي من المذهب النيوتوني، انظر: I. Bernard Cohen, *Franklin and Newton; an Inquiry into Speculative Newtonian Experimental Science and Franklin's Work in Electricity as an Example Thereof*, Memoirs of the American Philosophical Society; v. 43 (Philadelphia: [American Philosophical Society], 1956), chap. vii, esp. pp. 255-257 and 275-277.

(6) وقد نوقش هذا المثل مطولاً على مقربة من نهاية الفصل العاشر من هذا الكتاب.

وقوانين الديناميكا الحرارية ذات السيطرة والوظيفة اليوم.

غير أن قواعد كهذه ليست القواعد الوحيدة، ولا هي النوع الأكثر إثارة للاهتمام الذي أظهرته الدراسة التاريخية. إذ يوجد، على سبيل المثال، وفي مستوى أقل أو أكثر مادية من القوانين والنظريات، عدد كبير من الالتزامات بأنماط مفضلة من علم القياس بالأجهزة وطرق استخدام أدوات مقبولة استخداماً مشروعاً. فقد أدّى تغيير المواقف من دور النار في التحاليل الكيميائية دوراً حيوياً في تطور علم الكيمياء في القرن السابع عشر(7). وفي القرن التاسع عشر [41] واجه هيلمهولتز (Helmholtz) مقاومة من الفيزيولوجيين تتصل بفكرة أن التجريب الفيزيائي يمكنه أن يلقي ضوءاً على حقل عملهم(8). وفي هذا القرن يوضح التاريخ المشوّق للكروماتوغرافيا الكيميائية أيضاً ثبات الالتزامات بالأدوات، التي وفرت للعلماء، مثل القوانين والنظرية، قواعد اللعبة(9). وعندما نحلل اكتشاف الأشعة السينية، فإننا سنجد أسباباً لالتزامات من هذا القبيل.

أما الالتزامات شبه الميتافيزيقية ذات المستوى الأعلى، التي كان الدرس التاريخي يعرضها بانتظام، فقد كانت أقل محلية ووقتية. فبعد عام 1630، على سبيل المثال، وبخاصة بعد ظهور كتابات الفيلسوف

---

(7) انظر: Hélène Metzger, *Les Doctrines chimiques en France du début du XVIIe à la fin du XVIIIe siècle* (Paris: [s. n.], 1923), pp. 259-61, and Marie Boas Hall, *Robert Boyle and Seventeenth-Century Chemistry* (Cambridge, MA: Cambridge University Press, 1958), pp. 112-115.

(8) انظر: Leo Koenigsberger, *Hermann von Helmholtz*, Trans. by Frances A. Welby; with a Preface by Lord Kelvin (Oxford: [Clarendon press], 1906), pp. 65-66.

(9) انظر: James E. Meinhard, «Chromatography: A Perspective,» *Science*, vol. 110, issue 2859 (October 1949), pp. 387-392.

والعالم ديكارت (Descartes) ذات التأثير العظيم، افترض معظم علماء الفيزياء أن العالَم مؤلف من جسيمات مجهرية (ميكروسكوبية)، وأن كل الظواهر الطبيعية يمكن شرحها بلغة شكل الجسيمات ومقدارها وحركتها وتفاعلها. وقد برهنت تلك المجموعة من الالتزامات عن كونها ميتافيزيقية ومنهجية معاً. وبكونها ميتافيزيقية علّمت العلماء عن ماهية أنواع الكائنات التي يحويها العالم، وتلك التي لا وجود لها فيه، أي: لا وجود فيه إلا للمادة ذات الشكل والمتحركة. وبكونها منهجية أفادتهم عن صورة القوانين الأخيرة والشروحات الأساسية، أي: إن القوانين يجب أن تعيّن حركة الجسيمات وتفاعلها، ويجب أن تختزل أي ظاهرة طبيعية معطاة إلى فعل الجسيمات تحت تلك القوانين. والأكثر أهمية هو أن التصور الجسيمي للعالم علّم العلماء ما يجب أن يكون عليه الكثير من مسائل بحثهم. فعلى سبيل المثال، صار الكيميائي الآخذ بالفلسفة الجديدة، مثل العالم بويل، يوّجه انتباهاً خاصاً إلى إمكانية النظر إلى التفاعلات الكيميائية بوصفها تحوّلات. وهذه تعرض بوضوح أكثر من سواها عملية إعادة الترتيب الجسيمي الذي يقع في أساس كل تغير كيميائي[10]. وقد كان لمذهب الجسيمات آثار مماثلة يمكن [42] ملاحظتها في دراسة علوم الميكانيكا والبصريات والحرارة.

وأخيراً، وفي مستوى أعلى من السابق، توجد مجموعة أخرى من الالتزامات لا يكون من دونها الإنسان عالماً. فمن واجبات العالم، مثلاً، أن يهتم بفهم العالم، وأن يزيد من الدقة ويوسع

---

(10) للاطلاع على المذهب الجسيمي، بصورة عامة، انظر: Marie Boas, «The Establishment of the Mechanical Philosophy,» *Osiris*, vol. 10 (1952), pp. 412-541.

لآثارها في كيمياء بويل، انظر: Thomas S. Kuhn, «Robert Boyle and Structural Chemistry in the Seventeenth Century,» *Isis*, vol. 43, no. 1 (April 1952), pp. 12-36.

المجال اللذين بهما تم تنظيمه. كما يجب أن يقوده ذلك الالتزام، بدوره، إلى القيام بعملية تفحّص، لنفسه أو عبر زملائه، لناحية ما من الطبيعة، وذلك بتفصيل تجريبي عظيم. وإذا ما كشف له ذلك التفحص عن جيوب فوضى ظاهرة، فيجب أن تدفعه، باعتبارها تحدياً، إلى إعادة تنقية نظرياته من جديد. ومما لا ريب فيه أن هناك قواعد أخرى مثل تلك، كانت التزامات للعلماء في كل الأزمنة.

إن وجود هذه الشبكة القوية من الالتزامات ـ الفكرية، والنظرية، والأداتيّة، والمنهجية ـ هو مصدر أساسي للتشبيه الذي يصل العلم العادي بحل الأحجيات. ولأنها توفر قواعد تعلم المشتغل في اختصاص مكتمل عن صورة العالم وصورة العلم، فإن هذا الممارس العلمي يمكنه أن يركز بثقة على المشكلات الغامضة التي تحددها له تلك القواعد والمعرفة القائمة. وما يشكل بالنسبة إليه بعدئذ تحدياً شخصياً هو كيفية حل الأحجية الباقية. فمن هذه النواحي وغيرها تنير مناقشة الأحجيات والقواعد طبيعة الممارسة العلمية العادية. ومع ذلك، وبطريقة أخرى، يمكن تلك الإنارة أن تكون مضلّلة بمقدار كبير. فبالرغم من وجود قواعد ينبغي على جميع المشتغلين في اختصاص علمي أن لا يحيدوا عنها في زمن ما، فقد لا تعين تلك القواعد بذاتها كل ما هو مشترك في ممارسة هؤلاء الاختصاصيين. فالعلم العادي هو نشاط ذو تحديد عال، لكن هذا لا يعني أن يكون محدَّداً كله بالقواعد. وقد كان هذا الداعي، وفي بداية المحاولة، لأن أقدم براديغمات مشتركة، وليس قواعد مشتركة وافتراضات ووجهات نظر، بوصفها منبع الاتساق المنطقي لتقاليد البحث العادي. وفي رأيي أن القواعد تشتق من البراديغمات، لكن البراديغمات تقدر على قيادة البحث حتى في حال غياب القواعد.

V

أولويّة البراديغمات

لكي نكتشف العلاقة القائمة بين القواعد والبراديغمات والعلم العادي، ما علينا إلا أن نعتبر، بادئ ذي بدء، الكيفية التي بحسبها يعزل المؤرخ مواضع الالتزام الخاصة التي وصفناها قبل قليل بالقواعد المقبولة. ويكشف التحقيق التاريخي في اختصاص ما، وعن كثب، عن مجموعة من الأمثلة التوضيحية التكرارية وشبه المعيارية لنظريات مختلفة في مجال تطبيقاتها الفكرية، ومجال المشاهدة، والأدوات. وهذه هي براديغمات المتَّحد التي تعرض في كتبه الدراسية، ومحاضراته، وتمارين المختبرات. وبدرسها والتمرس بها يتعلم أعضاء المتَّحد المهنة. وسيكتشف المؤرخ بالطبع إضافة إلى ذلك منطقة شبه ظل تابعة ومملوءة بإنجازاتٍ ما زالت موضع الشك، لكن جوهر المشكلات التي تم حلها، وكذلك الآليات، عادة ما يكون واضحاً. وبالرغم من وجود حالات من الغموض في بعض الأحيان، فإن براديغمات علم ناضج يمكن تحديدها بيسر نسبي.

إن تحديد البراديغمات المشتركة ليس تحديداً للقواعد المشتركة. فذلك يتطلب خطوة ثانية تكون إلى حدّ ما من نوع مختلف. وعند

القيام بها، على المؤرخ أن يقارن براديغمات المتَّحد بعضها مع بعضها الآخر، ومع تقارير بحثها الجاري. وفي عمله هذا، يكون هدفه الكشف عن العناصر الممكن عزلها، الصريح منها والضمني، والتي يمكن أن يكون أعضاء ذلك المتَّحد قد جرَّدوها من براديغماتهم الأكثر عالمية، ونظموها على صورة قواعد في بحثهم. وإن كل من حاول وصف أو تحليل تطور تقليد علمي خاص لا بد أن يكون قد طلب الوصول إلى مبادئ مقبولة وقواعد من هذا النوع. ومن المؤكد كما دلَّ الفصل السابق، أنه سيحقق نجاحاً جزئياً على الأقل. ولكن إذا كانت خبرته مثل خبرتي، فإنه سيجد أن البحث عن القواعد أصعب وأقل إشباعاً للرغبة من البحث عن البراديغمات. كما أن بعض التعميمات التي يوظفها لوصف معتقدات المتَّحد المشتركة لن تقدم له أي مشاكل. [44] في حين أن بعضها الآخر، بما في ذلك بعض تلك التعميمات التي استعملت كأمثلة توضيحية في ما تقدم، سيبدو قوياً جداً بمقدار. وسواء صيغت بتلك الطريقة أم بطريقة أخرى يمكنه تخيّلها، فإن رفضها من قبل بعض أعضاء المجموعة التي يدرسها سيكون مؤكداً على الأغلب. ومع ذلك، إذا كان المطلوب هو فَهْمُ الاتساق المنطقي لتقليد البحث بلغة القواعد، فالحاجة، حالتئذ، تكون لتعيين الأرض المشتركة في المنطقة ذات العلاقة. والنتيجة لكل ذلك هي أن البحث عن مجموعة من القواعد قادرة على أن تؤلف تقليداً بحثياً عادياً يصبح مصدراً لإحباط مستمر وعميق.

إن الإقرار بوجود ذلك الإحباط يجعل تشخيص مصدره ممكناً. ويستطيع العلماء أن يوافقوا على أن نيوتن، أو لافوازييه، أو ماكسويل، أو إينشتاين، قد أنتجوا حلاً ثابتاً بشكل واضح لمجموعة من المشكلات البارزة، ومع ذلك فهم لا يتفقون، وعدم اتفاقهم هذا قد يكون بغير وعي منهم، حول الخصائص التجريدية الخاصة

المسؤولة عن ثبات تلك الحلول. فهم قادرون على الاتفاق على تحديد ماهية براديغم من غير أن يتفقوا على تفسير كامل أو تعليل له، أو محاولة إنتاج مثل ذلك التفسير أو التعليل. إن الافتقار إلى معيار للتفسير أو الافتقار إلى اختزال للقواعد متفق عليه، لا يحول دون تأدية البراديغم دوره في قيادة البحث. فالعلم العادي يمكن أن يتحدد تحديداً جزئياً عن طريق الفحص المباشر للبراديغمات، أي بالعملية التي غالباً ما تُؤَيَّد بصيغة القواعد والافتراضات، لكنها لا تعتمد عليها. والواقع هو أن وجود البراديغم لا يتضمن وجود مجموعة من القواعد كاملة[1].

ولا شك في أن النتيجة الأولى لتلك التعابير هي طرح المشاكل. ففي حال عدم وجود مجموعة قادرة من القواعد، ما الذي يقيّد العالِم بتقليد علمي عادي خاص؟ ثم ما معنى عبارة «الفحص المباشر للبراديغمات»؟ الأجوبة الجزئية عن أسئلة كتلك، كان قد طورها الفيلسوف لودفيك فتغنشتاين (Ludwig Wittgenstein) في كتاباته الأخيرة، بالرغم من وجودها في سياق مختلف جداً. ولأن ذلك السياق أكثر ابتدائية ومألوفية على السواء، فإن في اعتبار صورة حجة فتغنشتاين بعين الاعتبار أولاً. وقد تساءل فتغنشتاين عما نحتاج إليه لكي نطبق مفردات مثل «كرسي»، أو «ورقة شجرة»، أو «لعبة» |45| بشكل لا لبس فيه ولا يثير الجدل؟[2]

(1) لقد طور مايكل بولانيي (Michael Polanyi) تطويراً ذكياً فكرة مماثلة جداً مبرهناً على أن الكثير من نجاح العالِم يعتمد على «المعرفة الضمنية»، أي على المعرفة التي تكتسب من خلال الممارسة والتي لا يمكن صياغتها صياغة ظاهرة. انظر كتابه: Michael Polanyi, *Personal knowledge; Towards a Post-Critical Philosophy* (Chicago: [University of Chicago Press], 1958), esp. chaps. 5 and 6.

(2) وعلى كل حال، لا يقول فتغنشتاين شيئاً تقريباً عن نوع العالم اللازم لإسناد إجراء التسمية الذي يحمل وصفه. لذا، فإن جزءاً من النقطة التي تتبع لا يمكن نسبتها إليه. انظر:

بَيْد أن ذلك السؤال قديم جداً، وكانت الإجابة عنه إجابة عمومية بالقول إن علينا أن نعرف، بوعي منا أو حدسيّاً، ما هي الكرسي أو الورقة أو اللعبة. أي إن علينا أن ندرك مجموعة ما من الصفات تشارك فيها كل الألعاب، والألعاب وحدها. وقد استنتج فتغنشتاين أنه، بالنظر إلى طريقة استعمالنا اللغة وفي نوع العالم الذي نطبقها عليه، تزول الحاجة إلى مثل مجموعة الخصائص تلك. ومع أن مناقشة بعض الصفات التي يشترك بها عدد من الألعاب أو الكراسي أو الأوراق غالباً ما يساعدنا على تعلّم كيفية استعمال المصطلح المطابق، فإنه لا يوجد مجموعة من الخصائص يمكن تطبيقها على كل عائلة الصنف، وعليها وحدها في الوقت نفسه. وعوضاً عن ذلك، فإننا نطبق مصطلح «لعبة» عندما نواجَه بنشاط غير مشاهد سابقاً، والسبب يَمْثُلُ في أن ما نراه الآن يحمل «شبهاً عائلياً» قريباً مع عدد من النشاطات التي تعلمنا في الماضي أن ندعوها بذلك الاسم. وباختصار، فإن الألعاب والكراسي والأوراق هي بالنسبة لفتغنشتاين عائلات طبيعية، ألَّفت كل واحدة منها شبكة من التشابيه المتداخلة والمتقاطعة. وإن وجود مثل هذه الشبكة يفسر، بما فيه الكفاية، نجاحنا في تحديد هوية موضوع النشاط المقابل. وإذا تداخلت العائلات التي ذكرناها وامتزجت تدريجياً ببعضها البعض، ففي هذه الحالة فقط ـ أي في حالة عدم وجود عائلات طبيعية ـ فإن نجاحنا في تعيين الهوية والتسمية يمكن أن يوفر دليلاً على وجود مجموعة من الخصائص المشتركة لكل اسم نستخدمه من أسماء الصنف.

Ludwig Wittgenstein, *Philosophical Investigations*, Translated by G. E. M. = Anscombe (New York: [Macmillan], 1953), pp. 31-36.

ينطبق شيء من النوع ذاته على مشكلات البحث المختلفة والآليات التي تنشأ وسط تقليد علمي عادي واحد. وما تشترك به هذه ليس في كونها تحقق مجموعة من القواعد والافتراضات الصريحة أو الممكن اكتشافها اكتشافاً كاملاً، والتي تعطي التقليد طابعه وسيطرته على العقل العلمي. فبدلاً من ذلك، يمكنها أن تترابط عن طريق التشابه وتكون صورة مثالية لجزء أو آخر من مجموعة المؤلفات العلمية التي كان قد أقر المتَّحد المدروس بكونها من بين إنجازاته [46] التي تمَّ تأسيسها. وينطلق العلماء في عملهم من صور مثالية اكتُسبت بالتربية وعبر التعرض اللاحق للأدب، وغالباً من دون معرفة أو الحاجة إلى معرفة الخصائص التي أعطت هذه الصورة وضعية هي وضعية براديغمات المتَّحد. ولأنهم يفعلون كذلك، فهم غير محتاجين لمجموعة كاملة من القواعد. والاتّساق المنطقي الذي يعرضه تقليد البحث الذي يشاركون فيه يمكن أن لا يتضمن حتى وجود مجموعة قواعد وافتراضات في أساسه يمكن تحقيق تاريخي إضافي أو فلسفي أن يرفع الغطاء عنه. ولأن العلماء، لا يسألون في العادة عما يجعل مشكلة خاصة أو حلاً مشروعاً، أو لأنهم لا يناقشون مشروعية المشكلة أو الحل، فإن ذلك الوضع يغرينا بافتراض أنهم يعرفون الجواب ولو حدسياً على الأقل. لكن تلك الحال قد تدل على وجود شعور بأنه ليس للسؤال أو للجواب علاقة ببحثهم. فالبراديغمات هي أسبق بوجودها، وأكثر تقييداً، وأكمل من أي مجموعة من قواعد البحث التي يمكن تجريدها من البراديغمات بوضوح.

حتى الآن كانت هذه النقطة نظرية بصورة كاملة: وهي أن البراديغمات يمكنها تحديد العلم العادي من دون تدخّل قواعد يمكن اكتشافها. دعني الآن أحاول أن أزيد من وضوحها وإلحاحها بذكر بعض أسباب الاعتقاد بأن البراديغمات تعمل بتلك الطريقة. السبب

الأول، وهو الذي تمت مناقشته كلياً قبل قليل، يَمْثُلُ في الصعوبة الشديدة في عملية اكتشاف القواعد التي قادت تقاليد علمية عادية خاصة. وهذه الصعوبة هي الصعوبة نفسها تقريباً التي يواجهها الفيلسوف عندما يحاول أن يتحدث عما تشترك فيه كل الألعاب. والسبب **الثاني**، الذي يعتبر السبب الأول نتيجة له، متجذر في طبيعة التربية العلمية. فلا بدَّ الآن من التوضيح أن العلماء لا يتعلمون مفاهيم وقوانين ونظريات في حالة مجردة، وفي حد ذاتها. وعوضاً عن ذلك، تُواجَه هذه الأدوات الفكرية، ومنذ البداية، في وحدة تاريخية وتربوية سابقة لغيرها، حيث تعرضها مع تطبيقاتها، وخلال تطبيقاتها. فالنظرية الجديدة يتم الإعلان عنها دائماً مع تطبيقاتها على مدى مادي ما من الظواهر الطبيعية، ومن دون هذه التطبيقات لا تصلح النظرية لأن تكون مرشَّحةً لنيل القبول. وبعد حصول القبول، فإن تلك التطبيقات نفسها أو أخرى غيرها ترافق النظرية في الدخول إلى الكتب الدراسية التي منها سوف يتعلم من سيشتغل في ميدان العلم مهنته. فهي لا تكون هناك مجرد زخرفة لا قيمة لها أو مجرد [47] عمل توثيقي. وعلى العكس، فعملية تعلم نظرية تعتمد على دراسة التطبيقات، بما في ذلك ممارسة حل المسائل بالقلم والورق وبواسطة أدوات في المختبر. فعلى سبيل المثال، إذا اكتشف طالب يدرس علم الديناميكا النيوتوني معاني المصطلحات مثل «قوة» و«كتلة» و«مكان» «زمان»، فهو يقدر على ذلك بمشاهدته ومشاركته في تطبيق هذه التصورات على حل المسائل وليس من مجرد معرفته بالتعاريف الناقصة والمساعدة، أحياناً، الموجودة في الكتاب الدراسي.

إن عملية التعلم تلك بواسطة التمرين اليدوي أو بواسطة العمل تستمر طوال عملية التعلم الأولي المهني. وفيما يتابع الطالب دراسته

من السنة الأولى في الجامعة إلى أطروحة الدكتوراه، وخلال سني تحضيرها، تصبح المشكلات المعينة له أكثر تعقيداً والسابقات المماثلة لها أقل. لكن تبقى لها صورة قريبة من مثال الإنجازات السابقة، كالمشكلات التي ستشغله خلال حياته العلمية المستقلة اللاحقة. وللمرء حرية الافتراض أن العالِم، في مكان ما في طريقه، قد جرّد بطريقة حدسية قواعد اللعبة لنفسه، لكن سبب تصديق ذلك ضعيف. وبالرغم من أن العديد من العلماء يتكلمون بيسر وبطريقة جيدة عن الفرضيات الفردية الخاصة التي تقع في أساس قسم من بحث جارٍ، إلا أنهم ليسوا أفضل من الشخص العادي في تحديد الأسس القائمة لحقلهم، ومشكلاته المشروعة، ومناهجه. وإذا كان العلماء قد تعلموا مثل تلك الأفكار المجردة، فهم سيظهرونها عبر قدرتهم على عمل بحث ناجح. غير أن تلك القدرة يمكن فهمها من دون اللجوء إلى القواعد الافتراضية للعبة.

إن نتائج التربية العلمية هذه لها عكسها الذي يوفر سبباً **ثالثاً** للافتراض بأن البراديغمات تقود البحث عن طريق صنع صورة مثالية مباشرة، ومن خلال القواعد المجردة أيضاً. ويمكن العلم العادي أن يستمر من دون قواعد، وذلك يكون فقط طالما ظل المتَّحد العلمي ذو العلاقة موافقاً موافقة تامة على حلول المشاكل الخاصة التي سبق أن تحققت. لذا يجب أن تصبح القواعد مهمة، ويجب أن يزول عدم الاهتمام المميّز بها، وذلك عندما يوجد شعور بأن البراديغمات أو الصور المثالية ليست في حرز أمين. ذلك، بالضبط، ما يحدث علاوة على ذلك: وإن فترة ما قبل البراديغم، قد تميّزت بشكل خاص، [48] بوجود مجادلات متكررة وعميقة حول المناهج المشروعة، والمشكلات، ومعايير الحل، بالرغم من أن هذه المسائل تفيد في تعريف المدارس العلمية أكثر من إنتاجها اتفاقاً. ولقد لاحظنا عدداً

قليلاً من هذه المجادلات في البصريات والكهرباء، وهي أدّت دوراً أكبر في تطوير كيمياء القرن السابع عشر، وفي جيولوجيا مطلع القرن التاسع عشر(3). فضلاً عن ذلك فإن مجادلات كهذه لا تختفي مرة وإلى الأبد مع ظهور أحد البراديغمات. ومع أنها غالباً ما تكون معدومة خلال فترات العلم العادي، فهي تعاود الظهور، وبانتظام، قبل وخلال الثورات العلمية، أي خلال الفترات التي تتعرض فيها البراديغمات للمرة الأولى لهجوم يعقبه تغيير. لقد أثار الانتقال من ميكانيكا نيوتن إلى ميكانيكا الكَمّ مجالات حول طبيعة ومعايير علم الفيزياء، وبعضها لا يزال دائراً(4). وهناك أناس أحياء، اليوم، يتذكرون مناقشات شبيهة سببتها نظرية ماكسويل الكهرمغنطيسية والميكانيكا الإحصائية(5). وحتى

---

(3) في ما يتعلق بالكيمياء، انظر: Hélène Metzger, *Les Doctrines chimiques en France du début du XVIIe à la fin du XVIIIe siècle* (Paris: [s. n.], 1923), pp. 24-27 and 146-49, and Marie Boas Hall, *Robert Boyle and Seventeenth-Century Chemistry* (Cambridge, MA: Cambridge University Press, 1958), chap. ii.

أما بخصوص الجيولوجيا، فانظر: Walter F. Cannon, «The Uniformitarian-Catastrophist Debate,» *Isis*, vol. 51 (1960), pp. 38-55, and Charles Coulston Gillispie, *Genesis and Geology, a Study in the Relations of Scientific Thought, Natural Theology, and Social Opinion in Great Britain, 1790-1850*, Harvard Historical Studies; v. 58 (Cambridge, MA: Harvard University Press, 1951), chaps. iv-v

(4) للاطلاع على ميكانيكا الكَمْ، انظر: Jean Ullmo, *La Crise de la physique quantique* (Paris: [s. n.], 1950), chap. ii.

(5) للاطلاع على ميكانيكا الاحصاء، انظر: René Dugas, *La Théorie physique au sens de Boltzmann et ses prolongements modernes*, préf. de Louis de Broglie, Bibliothèque scientifique, 33 (Neuchâtel: [Griffon], 1959), pp. 158-184 and 206-219.

وحول قبول أعمال ماكسويل، انظر: Max Planck, «Maxwell's Influence in Germany,» in: *James Clerk Maxwell; a Commemoration Volume, 1831-1931*, Essays by Sir. J. J. Thomson [et al.] (Cambridge, MA: [Cambridge University press], 1931), pp. 45-65 and esp. pp. 58-63, and Silvanus Phillips Thompson, *The Life of William Thomson, Baron Kelvin of Largs*, 2 vols. (London: [Macmillan], 1910), vol. 2, pp. 1021-1027.

قبل ذلك، أثار تمثل ميكانيكا غاليليو ونيوتن سلسلة من المجادلات المهمة، وبنوع خاص مع أتباع الفلاسفة أرسطو وديكارت ولايبنتز (Leibniz) حول معايير العلم المشروعة[6]. وعندما يختلف العلماء حول ما إذا كانت المشكلات الجوهرية لحقل عملهم قد حلت أم لا، حالتئذ، يكتسب البحث عن القواعد وظيفة لا يملكها في العادة. |١٤٩| وفيما البراديغمات في حرز أمين، فإنها تؤدي وظيفتها مستغنية عن الاتفاق حول التبرير العقلي أو من دون محاولته إطلاقاً.

أما السبب **الرابع** لمنح البراديغمات وضعية أولوية بالنسبة إلى القواعد المشتركة والافتراضات، فهو الذي يختتم هذا الفصل. لقد ورد رأيٌ في مقدمة هذه المحاولة يفيد بوجود ثورات صغيرة وثورات كبيرة أيضاً، وبأن بعض الثورات يؤثر على أعضاء اختصاص فرعي مهني فقط، وبأن اكتشاف ظاهرة جديدة وغير متوقعة هو بالنسبة إلى مثل هذه المجموعات شأن ثوري. وسيقدم الفصل التالي مختارات من ثورات من ذلك النوع لا تزال كيفية وجودها غير جلية. وإذا لم يكن العلم العادي بالعلم المرن، وكانت المتَّحدات العلمية منغلقة، كما تضمنت المناقشة السابقة، فكيف يمكن أن يكون تأثير تغيير براديغم محصوراً بجماعة فرعية صغيرة؟ إن ما قيل حتى الآن قد

---

(6) للحصول على عيّنة من المعركة مع الأرسطيين، انظر: Alexandre Koyré, «A Documentary History of the Problem of Fall from Kepler to Newton,» *Transactions of the American Philosophical Society*, vol. 45 (1955), pp. 329-395.

وللإطلاع على المجادلات مع أتباع ديكارت وأتباع ليبنتز، انظر: Pierre Brunet, *L'Introduction des théories de Newton en France au XVIIIe siècle* (Paris: [A. Blanchard], 1931), and Alexandre Koyré, *From the Closed World to the Infinite Universe*, Publications of the Institute of the History of Medicine, the Johns Hopkins University, 3rd ser.: The Hideyo Noguchi Lectures; v. 7 (Baltimore: [Johns Hopkins Press], 1957), chap. xi.

يبدو أنه يتضمن فكرة أن العلم العادي هو مشروع واحد وموحَّد وأن عليه أن يبقى أو يسقط مع أحد براديغماته، كما معها كلها مجتمعة. لكن العلم نادراً ما يكون، أو أنه لا يكون مثل ذلك. وبدلاً من ذلك، يبدو العلم غالباً في الحقول كلها بنية مفكّكة وأجزاؤها المختلفة قليلة التماسك المنطقي، وذلك غالباً. كل ما قيل حتى هذه النقطة يجب ألا يتعارض مع تلك المشاهدة المألوفة جداً. وعلى العكس، فإن استبدال القواعد بالبراديغمات لا بد أن يجعل فهم تنوّع الحقول العلمية والاختصاصات أكثر سهولة. وإن القواعد الصريحة، إذا وجدت، تكون في العادة مشتركة في مجموعة علمية واسعة جداً، لكن البراديغمات ليست كذلك بالضرورة. والمشتغلون في حقول منفصلة كثيراً عن بعضها، مثل علم الفلك وعلم التصنيف النباتي، يتعلمون عن طريق تعريفهم على إنجازات مختلفة موصوفة في كتب مختلفة جداً. وحتى الأشخاص، سواء أكانوا في حقل معرفي واحد أم في حقول متقاربة، والذين يبدأون بدرس كثير من الكتب ذاتها والإنجازات، قد يكتسبون براديغمات مختلفة في مجرى الاختصاص المهني.

وكمثل واحد، فكِّرْ بالمتَّحد الكبير والمتنوع الذي يؤلفه جميع علماء الفيزياء. فكل عضو في هذه المجموعة يدرس، اليوم، قوانين ميكانيكا الكَمّ مثلاً، ومعظمهم يستخدم هذه القوانين في مكان ما، سواء في بحثهم أم في تدريسهم. لكنهم لا يتعلمون جميعاً تطبيقات [50] هذه القوانين نفسها، ولذلك، لا يتأثرون جميعاً بالتأثيرات ذاتها الناجمة عن التغيرات في الممارسة الكمية ـ الميكانيكية. فعلى طريق التخصص المهني هناك بعض العلماء الفيزيائيين الذين يواجهون فقط المبادئ الأساسية لميكانيك الكمّ. وآخرون يدرسون دراسة تفصيلية تطبيقات البراديغم لهذه المبادئ في الكيمياء، وآخرون في فيزياء الأجسام الصلبة، وهكذا. ويعتمد ما يعنيه علم ميكانيكا الكَمْ لكل

فريق منهم على نوع المواد العلمية التي تلقّاها، ونوع الكتب الدراسية التي قرأها، وعلى نوع المجلات العلمية التي درسها. وينتج من ذلك أنه، بالرغم من كون التغيير في قانون ميكانيك الكمّ ثورياً في نظر هذه المجموعات جميعها، فإن التغيير الذي له انعكاس على واحد أو آخر من تطبيقات البراديغم في ميكانيكا الكَمْ سيكون ثورياً فقط في نظر أعضاء اختصاص فرعي مهني خاص. أما بالنسبة إلى بقية مجموعات المهنة، وإلى أولئك الذين يمارسون علوماً فيزيائية أخرى، فليس من الضروري أن يكون ذلك التغير ثورياً على الإطلاق. وباختصار، يمكن القول إنه، بالرغم من كون علم ميكانيكا الكَمّ (أو علم ديناميكا نيوتن، أو النظرية الكهرمغنطيسية) براديغمَ لدى مجموعات علمية عديدة، فهو ليس البراديغم ذاته عند الجميع. لذلك يمكن البراديغم أن يحدد، وعلى نحو متزامن، عدة تقاليد للعلم العادي متداخلة، وليست متصلة. فليس من الضروري أن تمتد الثورة التي تحدث وسط أحد هذه التقاليد إلى التقاليد الباقية أيضاً.

ثمة مثل توضيحي مختصر عن تأثير الاختصاص يمكن أن يعطي كل هذه السلسلة من النقاط قوة إضافية. سأل محقق علمي، كان أمله أن يتعلم شيئاً عن مفهوم العلماء للنظرية الذرية، فيزيائياً مميزاً وكيميائياً بارزاً عما إذا كانت ذرّة وحيدة من الهليوم تؤلف جزيئاً. وقد أجاب كلاهما، وبلا تردد، لكنّ جوابيهما لم يكونا متطابقين. فبالنسبة إلى الكيميائي كانت ذرّة الهليوم جزيئاً لأنها تسلك سلوك الجزيء وفقاً للنظرية الحركية للغازات. بينما لم تكن ذرّة الهليوم في نظر الفيزيائي جزيئاً لأنها لم تكشف عن طيف جزيئي[7].

---

(7) الباحث هو جيمس ك. سينيرْ (James K. Senior) وإليه أدين بتقرير شفهي. فهو يعالج بعض المواضيع ذات الصلة في مقالته، انظر: James K. Senior, «The Vernacular of the Laboratory,» *Philosophy of Science*, vol. 25 (1958), pp. 136-168.

والمفترض أن كلا الشخصين كانا يتحدثان عن الجزء المادي ذاته، إلا أنهما كانا ينظران إليه من خلال التدريب البحثي والممارسة [51] الخاصة لكل منهما. فخبرتاهما في حل المشكلات أعلمتاهما عما يجب أن يكون الجزيء. ولا شك في أن خبرتيهما تشتركان في الكثير من العناصر، لكنهما، وفي هذه الحالة، لم تخبرا الاختصاصيين الشيء ذاته. وعندما نستأنف سوف نكتشف كيفية حصول مثل هذا النوع من الاختلافات البراديغمية، التي تظهر من وقت إلى آخر.

VI

ظاهرة عدم انتظام التوقع وظهور الاكتشافات العلمية

إن العلم العادي، هذا النشاط المنصبُّ على حلّ الأحجيات، الذي فرغنا من درسه قبل قليل، هو مشروع تراكمي كبير، حقق نجاحاً بارزاً في إصابة هدفه الذي هو توسيع مدى المعرفة العلمية ودقتها. فهو من هذه النواحي ينسجم انسجاماً دقيقاً مع الصورة العادية للعمل العلمي. ومع ذلك، ثمة شيء يتمخّض عنه المشروع العلمي، وهو مفقود في هذه الصورة. صحيح أن العلم العادي لا يهدف إلى الكشف عن جديد، لا على مستوى الوقائع ولا على مستوى النظرية، حتى في حال نجاحه. غير أن البحث العلمي طالما رفع الغطاء عن ظواهر جديدة وغير متوقعة، وأن العلماء ابتكروا نظريات جديدة جذرية في خضمّه. حتى إن التاريخ يفيد بأن المشروع العلمي طوّر آلية قوية فريدة لإنتاج مفاجآت من هذا النوع. وإذا كان لا بد من تسوية بين هذه الصفة الخاصة للعلم وما سبق أن قيل قبل قليل، تكون النتيجة هي أن البحث في ظل براديغم لا بد أن يكون طريقة فعالة لإحداث تغيير في البراديغم. وهذا هو بالضبط ما يفعله جديد الوقائع والنظريات. فإن ظهور جديد مفاجئ في لعبة ذات مجموعة

من القواعد يقتضي تمثله صياغة مجموعة أخرى من القواعد. وبعدما تصير المجموعة الجديدة أجزاء من العلم، لا يعود المشروع العلمي لأولئك الاختصاصيين الذين ظهرت الأشياء الجديدة في حقل عملهم هو المشروع ذاته على الأقل.

علينا الآن أن نسأل عن كيفية حصول تغييرات من هذا النوع، فنعتبر الاكتشافات أولاً، أو الوقائع المستجدة، ثم الإبداعات، أو النظريات المستجدّة. غير أن ذلك التمييز بين الاكتشاف والإبداع أو بين الواقعة والنظرية، سوف يثبت فوراً أنه تمييز زائف وإلى حد المبالغة. وزيفه مفتاح مهم للعديد من الأفكار الرئيسة لهذه المحاولة. وإن فحصنا اكتشافات مختارة، في ما بقي من هذا الفصل، فسوف يجعلنا نعرف، وبسرعة، أنها ليست حوادث منعزلة بل هي أحداث مترابطة وممتدة وذات بنية متكررة بانتظام. فالاكتشاف يبدأ بوعي وجود حالة عدم توقع، أي بإدراك للطبيعة بأنها خرجت عن التوقعات التي كان قد بعثها البراديغم والتي تحكم العلم العادي. [53] وبعد ذلك، يستمر باستكشاف ممتد لمنطقة التوقع. ولا يختتم الاكتشاف إلا عندما تُكيِّف نظرية البراديغم ليصبح ما كان شاذاً من نوع المتوقع. ويتطلب تَمثّل نوع جديد من الوقائع أكثر من مجرد تكييف إضافي للنظرية، والواقعة الجديدة لا تكون واقعة علمية إطلاقاً إلا بعد تمام ذلك التكييف ـ أي إلى أن يتعلم العالِم أن ينظر إلى الطبيعة نظرة مختلفة.

ولكي نرى كيفية الترابط الوثيق لجديد الوقائع والنظرية في ظاهرة الاكتشاف العلمي، ما عليك إلا أن تدْرس مثلاً ذا شهرة خاصة، وهو اكتشاف الأوكسجين. هناك ثلاثة أشخاص لهم حق الادعاء المشروع باكتشاف الأوكسجين، وهناك كيميائيون آخرون لا بد أن يكونوا في مطلع عام 1770 قد ملأوا به وعاء مختبرياً من دون

معرفة منهم[1]. إن تقدم العلم العادي، وفي هذه الحالة علم كيمياء الغازات المضغوطة، قد أعدّ الطريق لانطلاقة كلية. وكان أول من ادّعى تحضير عينّة نقية نسبياً من الغاز هو الصيدلي السويدي سي. و. سكيل (C. W. Scheele). غير أنه يمكننا أن نتجاهل عمله، لأنه لم ينشر إلا بعد الإعلان المتكرر عن اكتشاف الأوكسجين في أمكنة أخرى، وبالتالي ليس له تأثير في النمط التاريخي الذي يهمنا هنا[2]. والثاني من حيث الزمان، الذي له حق الادعاء، هو العالم ورجل الدين البريطاني جوزيف بريستلي (Joseph Priestley) الذي جمع الغاز الصادر عن تسخين مادة أكسيد الزئبق الأحمر كجزء من تحقيق عادي مطول مختص «بأنواع الهواء» التي تنبعث من عدد كبير من المواد الصلبة. وفي عام 1774 حدد الغاز الذي تم إنتاجه بتلك الطريقة بأنه أكسيد النتروجين، وفي عام 1775، وبعد تجارب أخرى أوسع، حدّده بأنه هواء عادي يحتوي على كمية من الفلوجستون أقل من كميته العادية. أما العالم الثالث الذي يحق له الادعاء، فكان لافوازييه الذي ابتدأ العمل الذي قاده إلى اكتشاف غاز الأوكسجين بعد تجارب العالم بريستلي في عام 1774، وربما على أثر تلميح من هذا العالم. [54]

---

(1) للاطلاع على مناقشة كلاسيكية تتعلق باكتشاف الأوكسجين لا تزال جارية، انظر: Andrew Norman Meldrum, *The Eighteenth Century Revolution in Science - The First Phase* (Calcutta; London; New York: [Longmans, Green and co., ltd.], 1930), chap. v.

هناك مراجعة حديثة لموريس دوماس (Maurice Daumas) لا غنى عنها تتضمن تفسيراً للجدل القائم في: Maurice Daumas, *Lavoisier, théoricien et expérimentateur* (Paris: [s. n.], 1955), chaps. ii-iii.

للاطلاع على تفاصيل ومراجع أوفى، انظر: Thomas S. Kuhn, «The Historical Structure of Scientific Discovery,» *Science*, vol. 136 (June 1962), pp. 760-764.

(2) ولتقييم مختلف لدور سكيل، انظر: Uno Bocklund, «A Lost Letter from Scheele to Lavoisier,» *Lychnos*, vol. 39 (1957-1958), pp. 39-62.

ففي عام 1775 سجّل لافوازييه ما يفيد بأن الحاصل من تسخين مادة أكسيد الزئبق الأحمر كان «الهواء ذاته بكليته، ومن دون تغيير [سوى]. . . أنه يصدر نقياً ويمكن تنفّسه بصورة أسهل»[3]. وقبل عام 1777، وربما بتلميح ثانٍ مساعدٍ من العالم بريستلي، توصّل لافوازييه إلى الاستنتاج بأن الغاز هو نوع متميز، وهو أحد المكونين الرئيسيين للجو، لكن بريستلي لم يوافق على ذلك أبداً.

هذا النمط من الاكتشاف يطرح سؤالاً حول كل ظاهرة جديدة دخلت وعي العلماء. هل كان بريستلي أم لافوازييه أول من اكتشف الأوكسجين؟ وفي كل الأحوال، متى تم اكتشاف الأوكسجين؟ وهذا السؤال في هذه الصورة يمكن، طرحه حتى لو وُجِدَ مدَّعٍ واحد لذلك الاكتشاف. فبالنسبة إلى السؤال عن الأسبقية في الاكتشاف وتاريخه، لا تهمنا الإجابة عنه إطلاقاً. ومع ذلك، فإن الحصول على جواب سوف يلقي ضوءاً على طبيعة الاكتشاف، إذ لا وجود لجواب من النوع المرجوّ. فالاكتشاف ليس ذلك النوع من العمليات الذي يطرح عليه ذلك السؤال طرحاً ويكون مناسباً له. وواقعة طرح السؤال تدل على علامة انحراف في صورة العلم التي يعطي أصحابها للاكتشاف ذلك الدور الأساسي ـ علماً بأن مسألة الأسبقية في اكتشاف الأوكسجين تَكَرَّرَ النزاع حولها منذ عام 1780. فلننظر مرة أخرى في مثالنا. لقد بُنِيَ ادعاء بريستلي باكتشاف الأوكسجين على أسبقيته بعزل غاز عُرِفَ، في ما بعد، بأنه نوع متميز. إلا أن عيّنة بريستلي لم تكن نقية، وإذا كان القبض على الأوكسجين غير النقيّ

---

(3) انظر: James Bryant Conant, *The Overthrow of the Phlogiston Theory; the Chemical Revolution of 1775-1789*, Harvard Case Histories in Experimental Science; Case 2 (Cambridge, MA: Harvard University Press, 1950), p. 23.

هذه الكراس المفيد جداً يعيد طباعة الكثير من الوثائق ذات العلاقة.

بيد إنسان ما يعني اكتشافاً لذلك الغاز، فذلك ما يعمله كل امرئ وضع هواء الجو في زجاجة. ويضاف إلى ذلك، إذا كان بريستلي هو المكتشف، فمتى كان الاكتشاف؟ فقد ظن في عام 1774 أنه حصل على أكسيد النيتروجين، وهو نوع من المادة سبق له أن عرفه، وفي عام 1775، اعتبر الغاز هواءً خالياً من الفلوجستون، وهذا أيضاً ليس بالأوكسجين، أو إنه، بالنسبة إلى الكيميائيين الفلوجستونيين، نوعٌ غير متوقع من الغاز. أما ادعاء لافوازييه فكان أقوى، غير أنه يقدم المشكلات ذاتها. وإذا رفضنا أن يكون النصر لبريستلي، فلن يكون بمقدورنا منحه إلى لافوازييه على عمله في عام 1775 الذي أدى به [55] إلى تحديد الغاز بأنه «الهواء ذاته بكليته». لقد انتظرنا أعمال العامين 1776 و1777 التي قادت لافوازييه، لا ليرى الغاز فقط ولكن ليعرف ما هو. ومع ذلك، يمكن التساؤل حول استحقاقه هذه المكافأة، وذلك لأنه في العام 1977 وإلى نهاية حياته، ظل مصراً على أن الأوكسجين «مبدأ حموضة» ذرّي، وأن غاز الأوكسجين لا يتشكل إلا عندما يتحد ذلك «المبدأ» مع سائل الحرارة، أي مادة الحرارة[4]. فهل نقول، كنتيجة لكل ذلك، إن اكتشاف الأوكسجين لم يحصل في عام 1777؟ قد يغري البعض مثل ذلك القول. إلا أن مبدأ الحموضة لم يبعد من علم الكيمياء إلا بعد عام 1810، واستمر العمل بفكرة السائل الحراري إلى ستينيات القرن التاسع عشر. وقبل هذين التاريخين كان الأوكسجين قد أصبح مادة كيميائية مألوفة.

من الواضح أننا نحتاج إلى معجم مصطلحات جديد وتصورات لتحليل أحداث مثل اكتشاف الأوكسجين. وبالرغم من صدق جملة

(4) انظر: Daumas, *Lavoisier, théoricien et expérimentateur*, chap, vii, and Hélène Metzger, *La Philosophie de la matière chez Lavoisier*, Exposés d'histoire et phislosophie des sciences (Paris: [Hermann et cie], 1935).

«أكتشف الأوكسجين» صدقاً لا ريب فيه، فإن هذه الجملة مضللة بإفادتها أن اكتشاف شيء هو عمل بسيط منفرد يمكن فهمه مثل فهمنا لتصور الرؤية (كما يمكن أن يكون محل تساؤل أيضاً). وهذا هو سبب كوننا جاهزين للافتراض بأن الاكتشاف، مثل الرؤية أو اللمس، يجب نسبته نسبة لا لُبْسَ فيها إلى فرد وإلى لحظة زمنية ما. لكن النسبة الثانية مستحيلة دائماً، والأولى هي غالباً ما تكون غير ممكنة أيضاً. وإذا ما تجاهلنا سكيل، فإنه يمكننا أن نقول، من دون أي شطط، إن الأوكسجين لم يكتشف قبل عام 1774، وقد يمكننا القول أيضاً إنه اكتشف قبل عام 1777 أو بعده بقليل. ولكن داخل تلك الحدود أو غيرها مما يشبهها، لا بد لأي محاولة لتعيين تاريخ الاكتشاف أن تكون تعسفية، وذلك، لأن اكتشاف ظاهرة من نوع جديد هو حدث معقد بالضرورة، ويشمل الإدراك بأن شيئاً ما موجود وماهية هذا الشيء على السواء. لتلاحظ، على سبيل المثال، أنه لو افترضنا أن الأوكسجين كان هواءً خالياً من الفلوجستون، لكنا، وبلا تردد، قد أكدنا أن مكتشفه هو بريستلي بالرغم من جهلنا زمانَ حدوث الاكتشاف. ولكن إذا افترضنا أن المشاهدة والتفكير التصوّري، أو الواقعة واستيعاب النظرية لها، هما مترابطان ترابطاً لا ينفك في ظاهرة الاكتشاف، فعندئذٍ يكون الاكتشاف عملية وينبغي أن تتطلب وقتاً. وليس إلا عندما تكون كل المقولات الفكرية ذات العلاقة قد تم إعدادها مسبقاً، يحصل اكتشاف الشيء وماهيته معاً، ومن دون جهد، وفوراً، لكن لا تكون الظاهرة في هذه الحال من [56] نوع جديد.

لنسلِّمْ الآن بأن الاكتشاف يشمل عملية تَمثّلٍ فكريٍ ممتدة، وإن لم تكن طويلة. فهل يكون بمقدورنا أن نقول أيضاً إنه يشمل تغيراً في البراديغم؟ لا يوجد جواب عام يمكن أن يُعطَى عن ذلك السؤال، ولكن، وفي هذه الحالة على الأقل، يجب أن يكون الجواب

بالإيجاب. فما أعلنه لافوازييه في أوراقه منذ العام 1777 وما بعد لم يكن اكتشافاً للأوكسجين أكثر منه نظرية الاحتراق الأوكسجيني. وكانت تلك النظرية بمثابة حجر الزاوية في صياغة جديدة واسعة لعلم الكيمياء جرت العادة على تسميتها بالثورة الكيميائية. والواقع أنه لو لم يكن اكتشاف الأوكسجين جزءاً ذا صلة عميقة بظهور براديغم جديد لعلم الكيمياء، لما بدت أبداً مسألة الأولوية التي بدأنا منها بتلك الأهمية. وفي هذه الحالة، كما في حالات أخرى، يكون اختلاف القيمة التي نضعها على ظاهرة جديدة، وبالتالي على مكتشفها، متناسباً مع تقديرنا لمقدار خروج الظاهرة عن التوقعات التي يثيرها البراديغم. وعلى كل حال، لنلاحظ هذه الملاحظة التي ستكون مهمة في ما بعد، وهي أن اكتشاف الأوكسجين لم يكن في حد ذاته سبب التغيير في النظرية الكيميائية. فقبل أن يقوم لافوازييه بأي دور في اكتشاف الغاز الجديد بزمن طويل، مقتنعاً أن ثمة خطأ في نظرية الفلوجستون، وأن الأجسام المحترقة تمتص جزءاً ما من الجو. وقد سجل ذلك في ملاحظة مختومة أودعت لدى سكرتير الأكاديمية الفرنسية في عام 1772[5]. والعمل في مسألة الأوكسجين أعطى صورةً إضافيةً وبنيةً لحسّ لافوازييه الأولي بوجود خطأ ما. فقد علّمه شيئاً كان مستعداً لاكتشافه ـ وهو طبيعة المادة التي يزيلها الاحتراق من الجو. وذلك الوعي المسبق للصعوبات هو جزء مهم، ساعد لافوازييه ليرى في مثل تجارب العالم بريستلي غازاً لم يقدر بريستلي على رؤيته بنفسه. وبنظرة عكسية، فإن الواقع المتمثل بالحاجة إلى مراجعة كبيرة للبراديغم لرؤية ما رآه لافوازييه كان السبب الرئيسي وراء عجز

(5) إن أكثر الأوصاف وثوقاً عن عدم رضى لافوازييه يوجد في: Henry Guerlac, *Lavoisier - the Crucial Year: The Background and Origin of His First Experiments on Combustion in 1772* (Ithaca, NY: [Cornell University Press], 1961).

بريستلي، إلى نهاية حياته الطويلة، عن رؤيته.

[57] وهناك مثلان آخران، أكثر إيجازاً بكثير من المثال السابق، سوف يؤكدان الكثير مما سبق ذكره، وينقلاننا، في الوقت نفسه، من توضيح طبيعة الاكتشافات إلى فهم ظروف ظهورها في العلم. وقد اختير هذا المثلان ليكونا مختلفين أحدهما عن الآخر، مثل اكتشاف الأوكسجين، وذلك في مسعى تمثيل الطرق الرئيسة التي بها تظهر الاكتشافات. أما المثل الأول فهو مثل الأشعة السينية، وهو حالة كلاسيكية تُمثِّل الاكتشاف بالصدفة، وهو نوع من الاكتشاف أكثر حدوثاً مما تسمح لنا بإدراكه بسهولة المعاييرُ اللاشخصية للتقارير العلمية. وتبدأ قصة هذه الأشعة في اليوم الذي قطع فيه العالم الفيزيائي رونتغن (Roentgen) بحثاً عادياً متعلقاً بالأشعة المهبطية (الكاثودية)، لأنه لاحظ أن شاشة بلاتينو سيانيد الباريوم، التي كانت على مسافة ما من جهازه المدرع، توهجت خلال عملية تفريغ الشحنة الكهربائية. وقد دلّت التحقيقات الأوسع ـ والتي اقتضت سبعة أسابيع من العمل الدؤوب قلما غادر رونتغن خلالها المختبر ـ على أن سبب التوهج صدر على شكل خطوط مستقيمة من أنبوب الأشعة المهبطية، وأن الإشعاع يلقي ظلالاً، ولا يمكن حرفه بالمغناطيس، بالإضافة إلى أشياء أخرى كثيرة. وقبل أن يعلن عن اكتشافه وطّد رونتغن نفسه مقتنعاً بأن نتيجته لا تعود إلى الأشعة المهبطية، بل إن سببها عامل شبيه بالضوء بعض الشبه[6].

(6) انظر: Lloyd William Taylor, *Physics, the Pioneer Science*, with the Collaboration in the Chapters on Modern Physics of Forrest Glenn Tucker (Boston; New York: [Houghton Mifflin Company], 1941), pp. 790-794, and Thomas Wightman Chalmers, *Historic Researches; Chapters in the History of Physical and Chemical Discovery* (London: [Morgan Bros.], 1949), 218-219.

فهذا المثل، وبالرغم من كونه بذلك الإيجاز، يكشف عن مشابهات مع اكتشاف الأوكسجين، وهي مثيرة: فمثلاً، قبل أن يجريَ لافوازييه تجاربه على أكسيد الزئبق الأحمر، كان قد قام بتجارب لم تنتج له النتائج التي توقعها من خلال عمله ببراديغم الفلوجستون، كذلك ابتدأ اكتشاف رونتغن بإدراكه توهّج الشاشة عندما لم يكن توهجها متوقعاً. ففي كلا الحالين، أدّى إدراك عدم التوقع - أي الظاهرة التي لم يُعِدّ البراديغمُ المحقِّقَ لها - دوراً جوهرياً في تهيئة الطريق لإدراك الجديد. ولكن بالإضافة إلى ذلك، فقد شكّل الإدراك في كلا الحالين بأن خطأ ما قد وقع مقدمة للاكتشاف. فلا الأوكسجين ولا الأشعة السينية ظهرا من دون إجراء مزيد من عملية التجريب والتمثل. فعند أي نقطة في تحقيق رونتغن مثلاً، علينا أن نقول إن الأشعة السينية قد اكتشفت فعلياً؟ وفي كل حال، لم يكن ذلك، في اللحظة الأولى، عندما كان توهج الشاشة [58] هو كل ما لوحظ. وهناك باحثٌ محقق آخر على الأقل قد رأى ذلك التوهج، غير أنه، ولخيبة أمله اللاحقة، لم يكتشف شيئاً على الإطلاق[7]. كذلك، وبالدرجة نفسها من الوضوح تقريباً، لم يكن بالإمكان تأخير لحظة الاكتشاف إلى الأسبوع الأخير من التحقيق، إذ كان رونتغن منكبّاً على درس خصائص الإشعاع الجديد الذي سبق أن اكتشفه. فليس لنا إلا القول إن الأشعة السينية ظهرت في مدينة فورزبرغ (Würzburg) ما بين الثامن من شهر تشرين الثاني/

---

(7) انظر: Edmund Taylor Whittaker, *A History of the Theories of Aether and Electricity*, 2 vols., Rev. and enl. ed. (London; New York: [T. Nelson, 1951-1953]), vol. 1: *The Classical Theories*, p. 358, no. 1.

وقد أخبرني السير جورج ثومسون (Sir George Thomson) عن شبه إخفاق ثان. وكان السير وليام كروكس (Sir William Crookes) على طريق الاكتشاف بعد تنبهه للصفائح الفوتوغرافية الضبابيّة.

نوفمبر والثامن والعشرين من شهر كانون الأول/ ديسمبر من عام 1895.

[59] وعلى كل حال، كانت وجوه التوازي المهمة بين اكتشاف الأوكسجين واكتشاف الأشعة السينية أقل ظهوراً في منطقة ثالثة. فخلافاً لاكتشاف الأوكسجين، لم يكن اكتشاف الأشعة السينية داخلاً، ولعقد من الزمن بعد حدوثه على الأقل، في أي خضة فجائية عنيفة تعرضت لها النظرية العلمية. إذاً، بأي معنى، يمكن أن يقال بأن تمثل ذلك الاكتشاف قد اقتضى تغييراً في البراديغم؟ إن قضية إنكار مثل هذا التغيير قوية جداً. والأمر المؤكد هو أن البراديغمات التي شارك فيها رونتغن ومعاصروه لم يكن ممكناً استعمالها للتنبؤ بالأشعة السينية. (ولم تكن نظرية ماكسويل الكهرمغناطيسية قد عم قبولها كل مكان، ونظرية الأشعة المهبطية الجزيئية كانت مجرد نظرية واحدة من عدة أفكار جارية). كذلك لم تمنع تلك البراديغمات، وبشكل واضح على الأقل، وجود الأشعة السينية مثلما كانت نظرية الفلوجستون قد منعت تفسير لافوازييه لغاز بريستلي. بل على العكس من ذلك، ففي عام 1895 قبلت النظرية العلمية والممارسة عدداً من صور الإشعاع ـ يشمل الأشعة المرئية، والأشعة تحت الحمراء، والأشعة فوق البنفسجية. فلماذا لم تقبل الأشعة السينية كصورة واحدة أخرى من صور صنف من الظواهر الطبيعية معروف جيداً؟ فمثلاً، لماذا لم يكن تلقيها مثل تلقي اكتشاف عنصر كيميائي إضافي؟ فقد كان السعي جارياً طلباً لعناصر جديدة لملء الأمكنة الفارغة في الجدول الدوري للعناصر، وقد تم اكتشافها في زمن رونتغن. وكان السعي وراءها مشروعاً عادياً من مشاريع العلم العادي، كما كان النجاح مجرد مناسبة للتهاني، وليس للدهشة.

وعلى أي حال، لم يكن اكتشاف الأشعة السينية مثيراً للدهشة

فحسب، بل كان مدعاة صدمة[8]. فقد دعاها اللورد كِلفِن (Lord Kelvin)، في أول الأمر، حيلة متقنة الصياغة. أما الآخرون، الذين لم يرتابوا بالدليل، فقد أصابهم خبرها بالذهول الواضح. ومع أن الأشعة السينية لم تمنعها النظرية القائمة، فإنها خرجت خروجاً عميقاً عن التوقعات المنيعة الجانب. وإني أرى أن تلك التوقعات كانت مضمرة في تصميم وفي تفسير إجراءات المختبر القائمة. وفي تسعينيات القرن التاسع عشر كان جهاز الأشعة المهبطية قد انتشر انتشاراً واسعاً في مختبرات أوروبية عديدة. وإذا كان جهاز رونتغن قد أنتج أشعة سينية، فلا بد أن يكون عدد من العاملين في التجارب قد أنتجوا، ولزمن ما، تلك الأشعة من دون أن يعرفوها. وربما أدخلت تلك الأشعة، التي كان لها مصادر أخرى من غير الممكن معرفتها، في مسألة سلوك تم تفسيرها سابقاً من دون الإشارة إليها. وعلى الأقل فإن أنواعاً عديدة من الجهاز العادي تجب حمايتها في المستقبل بدروع من الرصاص. وكذلك، اقتضى الحال إعادة العمل بمشاريع عادية كانت قد أنجزت سابقاً، لأن العلماء السابقين كانوا قد أخفقوا في إدراك متغيرٍ ذي صلة وضبطه. ومما لا شك فيه أن الأشعة السينية قد فتحت حقلاً جديداً، وتشكلت بالتالي إضافة إلى إمكانيات مجال العلم العادي. وهي أيضاً غيرت ميادين سبق أن وجدت، وهذه هي الآن النقطة الأهم. وفي مجرى العملية أُنكِر عن أنواع من الآلية البراديغمية السابقة حقَّها في ذلك اللقب.

وبكلام مختصر، وسواء حصل ذلك عن وعي أو عدم وعي، فإن قرار استخدام جهاز معين من الأجهزة بطريقة خاصة يحمل معه

---

(8) انظر: Silvanus Phillips Thompson, *The Life of William Thomson, Baron Kelvin of Largs*, 2 vols. (London: [Macmillan], 1910), vol. 2, p. 1125.

افتراضاً بأن أنواعاً معينة من الظروف من دون سواها سوف تظهر. فهناك توقعات عملية، وأيضاً نظرية، وقد أدت كلها في معظم الأحيان دوراً حاسماً في التطور العلمي. فمثلاً، كان أحد مثل هذه التوقعات جزءاً من قصة اكتشاف الأوكسجين المتأخرة. فكل من بريستلي ولافوازييه استعمل اختباراً عادياً لمعرفة «جودة الهواء»، فمزجا حجمين من غازهما مع حجم واحد من أكسيد النيتريك، ثم خضّا المزيج فوق الماء وبعد ذلك قاسا حجم الغاز المتبقّي. وكانت قد أكدت لهما التجربة السابقة التي منها نشأ هذا الإجراء العادي أن المتبقّي من هواء الجو سيكون حجماً واحداً، والمتبقّي من أي غاز [60] آخر (أو من هواء ملوث) سيكون أكبر. ووجدا، كلاهما، في التجارب على الأوكسجين، متبقياً قريباً من حجم واحد، وحددا نوع الغاز وفقاً لذلك. ولم يحصل أن رفض بريستلي الإجراء العادي إلا بعد وقت طويل متأخر، وحصل بعد ذلك عن طريق المصادفة. ثم حاول مزج مادة أكسيد النيتريك مع غازه بنسب أخرى. فوجد أنه باستعمال أربعة أمثال حجم أكسيد النيتريك لا يبقى أي متبقٍّ تقريباً. إن التزامه بطريقة إجراء الفحوص الأصلية - وهي طريقة مؤيدة من تجارب سابقة كثيرةً - كان التزاماً في الوقت نفسه بفكرة عدم وجود غازات ذات سلوك كسلوك الأوكسجين[9].

ويمكن الإكثار من هذا النوع من الأمثلة التوضيحية بالإشارة، مثلاً، إلى حادثة تحديد انشطار اليورانيوم الأخيرة. كان أحد الأسباب التي تفسر صعوبة إدراك التفاعل النووي يَمْثُلُ في أن الأشخاص الذين عرفوا ما يتوقعون عند قذف اليورانيوم اختاروا اختبارات

---

(9) انظر: Conant, *The Overthrow of the Phlogiston Theory; the Chemical Revolution of 1775-1789*, pp. 18-20.

استهدفتْ بشكل رئيسي عناصر من النهاية العليا للجدول الدوري[10]. فهل يجب علينا أن نستنتج من تكرار البرهان على أن مثل تلك الالتزامات العملية كانت مضللة، وبأن على العلم أن يهجر الاختبارات العادية والأدوات العادية؟ ذلك، إذا حصل، سيؤدي إلى وجود منهج للبحث لا يمكن تصوره. إن الإجراءات الملتزمة ببراديغم، وكذلك التطبيقات، ضرورية للعلم ضرورة قوانين البراديغم والنظريات، كما أن لها النتائج ذاتها. ولا شك في أنها تقيد حقل الظواهر الذي يكون في متناول البحث العلمي في أي وقت بعينه. [61] وبإدراكنا ذلك المقدار، يمكننا أن نرى في الوقت نفسه وبمعنى جوهري، كيف اقتضى اكتشاف الأشعة السينية تغييراً في البراديغم لقسم خاص من المتَّحد العلمي - وبالتالي تغييراً لكل من الاجراءات والتوقعات. وكنتيجة لذلك، يمكننا أن نفهم كيف يمكن أن يبدو

(10) انظر: K. K. Darrow, «Nuclear Fission,» *Bell System Technical Journal* (Short Hills, NJ), vol. 19 (1940), pp. 267-289.

لم يعرف عنصر الكريبتون (Krypton)، وهو أحد المنتوجين الرئيسين للانشطار، بواسطة وسائل كيميائية إلا بعد أن أصبح التفاعل مفهوماً، وبصورة جيدة. أما الباريوم (Barium)، وهو الناتج الآخر فقد عرف كيميائياً في مرحلة متأخرة من البحث، وذلك لأن هذا العنصر، وكما حدث، كان لا بد من إضافته إلى المحلول الإشعاعي لكي يرسّب العنصر الثقيل الذي كان يبحث عنه كيميائيو العلم النووي. وقد أدى الفشل في فصل ذلك الباريوم المضاف من الناتج الإشعاعي، في النهاية، وبعد البحث المتكرر في التفاعل إلى ما يقارب خمس سنوات، إلى التقرير التالي: «وباعتبارنا كيميائيين لا بد لنا، وبفضل هذا البحث... من أن نغير كل الأسماء في (التفاعل) الخطة السابقة ونكتب «Ce, La, Ba» بدلاً من «Th, Ac, Ra»». ولكن، بوصفنا «كيميائيين مختصين بالعلم النووي، ولنا علاقة وثيقة بعلم الفيزياء، لا نقدر أن نقفز هذه القفزة التي ستناقض كل الخبرة السابقة في علم الفيزياء النووي. ويبدو أن سلسلة من الأعراض الغريبة جعلت نتائجنا مخادعة». انظر: Otto Hahn and Fritz Strassman, «Uber den Nachweis und das Verhalten der bei der Bestrahlung des Urans mittels Neutronen entstehenden Erdalkalimetalle,» *Die Naturwissenschaften*, vol. 37 (1939), p. 15.

اكتشاف الأشعة السينية فاتحاً لعالم جديد غريب في نظر كثير من العلماء، وأنه لذلك، قادر على الإسهام بفعالية في الأزمة التي أدت إلى علم فيزياء القرن العشرين.

ينتمي مثلنا الأخير عن الاكتشاف العلمي، وهو جرّة ليدن (Leyden jar)، إلى صنف يمكن وصفه بالصنف المتولد من النظرية. قد يبدو هذا المصطلح في أول الأمر متناقضاً. لكن الكثير مما قيل حتى الآن يوحي بأن الاكتشافات التي تنبأت بها النظرية مقدماً كانت أجزاء من علم عادي، ولم ينجم عنها نوع جديد من الوقائع. فمثلاً، سبق لي أن أشرت إلى اكتشافات عناصر كيميائية جديدة خلال النصف الثاني من القرن التاسع عشر كانت قد نجمت عن العلم العادي بتلك الطريقة. غير أن النظريات ليست كلها نظريات براديغمات. ففي الفترات السابقة للبراديغمات، وخلال الأزمات التي أدت إلى تغييرات واسعة في البراديغمات، طوّر العلماء نظريات تأملية وغير مترابطة، كانت تتمكن من أن تدل على طريق الاكتشاف. وعلى كل حال، لم يكن ذلك الاكتشاف في أغلب الأحيان هو الذي توقعته الفرضية التأملية غير المؤكدة. فلا يظهر الاكتشاف ولا تصير النظرية براديغم إلا عندما تصاغ التجربة والنظرية الموقتة معاً صياغة تجعلهما متفقتين.

إن اكتشاف جرة ليدن يعرض كل هذه الملامح والملامح الأخرى التي كنا قد لاحظناها من قبل. ففي بدايته، لم يكن هناك براديغم واحد للبحث الكهربائي. وكان هناك، بدلاً من ذلك، وفي حالة تنافس، عدد من النظريات، اشتقّت كلها نسبياً من ظواهر يمكن الوصول إليها. ولم تنجح أي واحدة منها في تنظيم مجمل الظواهر الكهربائية المختلفة تنظيماً جيداً جداً. وكان ذلك الإخفاق مصدراً لعدد من حالات عدم التوقع التي وفرت الخلفية اللازمة لاكتشاف جرة ليدن. فاعتبرت إحدى مدارس الكهربائيين المتنافسة الكهرباء

سائلاً، وأدى هذا المفهوم بعدد من الأشخاص إلى محاولة وضع السائل في زجاجات وذلك بالإمساك بزجاجة صغيرة مملوءة بالماء بأيديهم وجعل الماء على تماس مع موصل يتدلى من مولد كهربائي [62] نشيط. وعندما حاول كل واحد من هؤلاء الباحثين لمس الماء (أو موصل موصول بالماء) بيده الطليقة بعد إبعاد الجرة عن الآلة، شعر بصدمة قوية. غير أن تلك التجارب الأولى لم توفّر للكهربائيين جرة ليدن. فقد ظهر ذلك الجهاز ببطء. ثم، من المحال القول متى تم اكتشافه. فالمحاولات الأولية لخزن السائل الكهربائي كانت ناجحة لأن الباحثين حملوا الزجاجة الصغيرة بأيديهم وهم على الأرض واقفون. وكان لا يزال على الكهربائيين أن يتعلموا أن الجرة يجب أن يكون لها خلاء موصل خارجي وداخلي، أيضاً، وأن السائل لم يكن في الحقيقة مخزّناً في الجرة. أما الجهاز الذي ندعوه جرة ليدن فقد ظهر في مكان ما في مجرى التحقيقات البحثية التي كشفتْ لهم كل هذا الذي ذكرناه، وعرَّفتهم على آثار حالات عدم توقع أخرى. علاوة على ذلك، فإن التجارب التي أدت إلى ظهوره، وكان العالم فرانكلين قد أجرى الكثير منها، كانت أيضاً التجارب التي اقتضت مراجعة جذرية لنظرية السائل، وبذلك وفرت أول براديغم كامل للكهرباء[11].

إن الخصائص المشتركة للأمثلة الثلاثة السابقة هي، إلى حد

---

(11) للاطلاع على مراحل مختلفة في تطور جّرة ليدن، انظر: I. Bernard Cohen, *Franklin and Newton;. an Inquiry into Speculative Newtonian Experimental Science and Franklin's Work in Electricity as an Example Thereof*, Memoirs of the American Philosophical Society; v. 43 (Philadelphia: [American Philosophical Society], 1956), pp. 385-386, 400-406, 452-467 and 506-507.

المرحلة الأخيرة موصوفة في: Whittaker, *A History of the Theories of Aether and Electricity*, pp. 50-52.

كبير أو صغير (مطابق للخط الموصل من الصدمة إلى النتيجة المتوقعة)، خصائص الاكتشافات كلها التي تظهر منها أنواع جديدة من الظواهر. وتشمل هذه الخصائص: الوعي المسبق لوجود حالة عدم توقع، وظهور إدراكين تدريجيين ومتزامنين على مستوى المشاهدة ومستوى التصور، ثم حصول تغيير، يترافق غالباً مع مقاومة في مقولات البراديغم. وثمة دليل على أن هذه الخصائص ذاتها هي من بنية طبيعة عملية الإدراك ذاتها. وفي إحدى تجارب علم النفس التي تستحق أن تعرف خارج المهنة على نحو أفضل، سأل العالمان برونر (Bruner) وبوستمان (Postman) الأشخاص الذين أجريت عليهم التجربة أن يحددوا نوعية سلسلة من أوراق اللعب بعد عرضها عليهم عرضاً قصير المدة ومحكوماً بقواعد. وكان الكثير من الأوراق عادياً، غير أن بعضها جُعِل في صورة لا تتفق مع صورتها المعتادة، مثلاً، هناك ورقة برقم ستة بستوني حمراء وورقة أربعة [63] ديناري سوداء. وتألفت كل دورة تجريبية من عرض ورقة واحدة على شخص واحد، وذلك في سلسلة عروض متزايدة تدريجياً. وبعد كل عرض كان الشخص يُسأل عما رآه، وتنهى الدورة بتحديدين صحيحين متتابعين[12].

وحتى في أقصر العروض مدة، تمكن العديد من الأشخاص الخاضعين للتجربة من تحديد معظم الأوراق، وبعد زيادة قليلة في مدة العرض تمكنوا جميعهم من تحديدها. وقد كانت هذه التحديدات، بالنسبة إلى الأوراق العادية صحيحة، غير أن الأوراق غير العادية، قد حدّدت وكأنها عادية من دون تردد ظاهر أو تحيّز. فعلى سبيل المثال، حددت الورقة ذات الرقم الديناري الأربعة

---

(12) انظر: Jerome S. Bruner and Leo Postman, «On the Perception of Incongruity: A Paradigm,» *Journal of Personality*, vol. 18 (1949), pp. 206-223.

السوداء على أنها أربعة بستوني أو أربعة ديناري. ومن دون وعي لأي مشكلة، تلاءمت الورقة، فوراً، مع إحدى المقولات الفكرية التي أعدتها تجربة سابقة. وحتى إنه لا يوجد من يحب أن يقول إن الأشخاص الخاضعين للتجربة قد رأوا شيئاً مختلفاً عما حددوه. ومع زيادة تعرضهم لرؤية الأوراق غير العادية، بدأ الأشخاص بالتردد وبإظهار وعي لظاهرة عدم توقع هذه الأوراق. فمثلاً، قال بعضهم بعد عرض ورقة الستة البستوني الحمراء: تلك ورقة ستة بستوني، لكن هناك خطأ ما فيها ـ فاللون الأسود له حدود حمراء. كما أنتجت زيادة عرض الأوراق تردداً أكثر واضطراباً، إلى أن تمكن معظم الأشخاص الخاضعين للتجربة، في الأخير، وأحياناً بصورة فجائية، من التحديد الصحيح من دون تردد. علاوة على ذلك، فبعد القيام بهذا العمل بعرض اثنتين أو ثلاثة من الأوراق غير العادية، ازدادت صعوبة تحديد الأوراق الأخرى قليلاً. وكان هناك عدد قليل من الأشخاص الذين لم يتمكنوا أبداً من الملاءمة المطلوبة مع مقولاته الفكرية. وحتى بعد أربعين مرة، وهو معدل العرض الضروري لإدراك الأوراق العادية على حقيقتها، كانت نسبة الأوراق غير العادية التي لم تُحَدَّد تحديداً صائباً أكثر من عشرة في المئة. وغالباً ما عانى الأشخاص الذين أخفقوا حزناً شخصياً حاداً. وواحد منهم صرخ: «إني أعجز عن تحديدها، مهما كانت. فهي لم تبدُ مثل ورقة اللعب تلك المرة. وأنا لا أعرف ما لونها الآن ولا أعرف إن كانت ورقة بستوني أم ورقة ديناري. حتى إنني غير متأكد الآن عما تكون عليه [64] صورة ورقة البستوني. فيا إلهي!»[13] في الفصل التالي سنرى أن

(13) انظر: المصدر نفسه، ص 218. ويخبرني زميلي بوستمان إنه مع معرفة المسبقة بكل ما يتعلق بالجهاز والعدة فإنه رغم ذلك، يجد أن النظر إلى الأوراق غير المتطابقة هو أمر غير مريح على الإطلاق.

العلماء أحياناً يسلكون هذه الطريق أيضاً.

وسواء نظرنا إلى تلك التجربة السيكولوجية على أنها تشبيه أو أنها تعكس طبيعة العقل، فإنها توفر مخططاً بسيطاً ومقنعاً عن عملية الاكتشاف العلمي. ففي العلم، كما في تجربة ورق اللعب، لا يظهر الجديد إلا بصعوبة، تتجلى بمقاومة، ضد خلفية أعدتها توقعات. وما يجري اختباره في أول الأمر هو المتوقع والعادي حتى بوجود ظروف تتأخر فيها مشاهدة الظاهرة غير العادية. غير أن معرفة أوسع لا بد أن ينجم عنها وعي شيء خاطئ أو أنها تربط النتيجة بشيء قد جرى مجرى الخطأ قبلاً. إن ذلك الوعي لظاهرات عدم التوقع غير العادية يفتح فترة تعد فيها المقولات الفكرية إلى أن يصبح الشيء الذي كان غير عادي، في أول الأمر، هو الشيء المتوقع. وعند هذه النقطة يكون الاكتشاف قد اكتمل. وقد سبق لي أن أكدت أن تلك العملية أو عملية ما تشبهها كثيراً تدخل في ظهور الأشياء العلمية الجديدة الجوهرية كلها. واسمحوا لي أن أشير الآن إلى أنه بإدراكنا العملية، يمكننا في النهاية أن نبدأ برؤية السبب الذي يجعل العلم العادي، وهو المسلك الذي لا يستهدف جديداً من الأشياء بل هو أميل إلى طمسها في البداية، فعالاً في إظهارها.

في عملية تطور أي علم، يكون الشعور عادة لدى تلقّي أول براديغم هو شعور بأنه يشرح، وبنجاح، معظم المشاهدات والتجارب التي تكون في متناول ممارسي ذلك العلم. ولذلك يستدعي المزيد من التطور، وبصورة عادية، بناء معدات دقيقة، وتطوير لغة من المصطلحات الخاصة والمهارات، وتنقية التصورات التي تقلل على نحو متزايد من مشابهتها بأنماطها العامة العادية. تلك المهنية تؤدي، من جهة، إلى تقييد كبير لرؤية العالم، وإلى مقاومة كبيرة لتغيير البراديغم. وبذلك يصير العلم جامداً بشكل متزايد. ومن جهة أخرى،

يقود العلم العادي، وفي المناطق التي يوجه البراديغم إليها انتباه المجموعة، إلى تفصيل للمعلومات ودقة في التقابل التطابقي ما بين المشاهدة والنظرية، لا يمكن حصولها بأي طريقة أخرى. وذلك التفصيل والدقة في التقابل التطابقي لهما قيمة تتعدى فائدتهما الذاتية التي لا تكون عالية دائماً. فمن دون الجهاز الخاص الذي صنع أساساً لوظائف متوقعة، لا يمكن أن تحدث النتائج التي تؤدي، في النهاية إلى الجديد. وحتى عندما يوجد الجهاز، لا يظهر الجديد عادة إلا للشخص الذي، بمعرفته الدقيقة لما يجب أن يتوقع، يمكنه أن يدرك أن شيئاً ما قد طرأ عليه خطأ. إن حالة عدم التوقع لا تظهر إلا على خلفية يوفرها البراديغم. فكلما كان البراديغم أكثر دقة وأبعد مجالاً كان المؤشر الذي يوفره للدلالة على وجود ظاهرة عدم توقع، أكثر حساسية، وتنشأ بالتالي فرصة لتغيير البراديغم. وفي الحالة العادية للاكتشاف، يكون لمقاومة التغير فائدة سيتم اكتشافها على وجه أكمل في الفصل التالي. ومع التأكيد بأن استسلام البراديغم لا يكون بسهولة، فإن المقاومة تضمن بأن العلماء لن يُشوَّش فكرهم بخفة، وأن ظواهر عدم التوقع التي تؤدي إلى تغيير في البراديغم ستتغلغل في المعرفة القائمة حتى الصميم. إن حقيقة ظهور جديد علمي مهم، وغالباً ما يكون من مختبرات عدة في الوقت نفسه إن هو إلا دليل على الطبيعة التقليدية القوية للعلم العادي، وإلى الكمال الذي على صورته يُعِدُّ ذلك المسلك التقليدي الطريق إلى تغييره ذاتَه.



VII

الأزمة وظهور النظريات العلمية

كانت الاكتشافات كلها التي نظرنا بشأنها في الفصل السادس أسباباً لتغيير البراديغم، أو إسهامات أدت إلى حدوثه. وكانت التغييرات كلها التي انطوت عليها هذه الاكتشافات هدّامة أيضاً، فضلاً عن كونها بنّاءة. فبعد أن يكون الاكتشاف قد تمثل، كان بمقدور العلماء أن يعللوا مجالاً أوسع من الظواهر الطبيعية، أو أن يفسروا بدقة أكبر بعضاً من المعروف منها سابقاً. لكن ذلك الكسب لم يتحقق إلا بالتخلي عن بعض المعتقدات العادية السابقة أو الإجراءات، وفي الوقت نفسه، باستبدال مكونات البراديغم السابق بمكونات أخرى. وكنت قد برهنت أن انتقالات من هذا القبيل تترافق مع كل الاكتشافات المتحققة عبر العلم العادي، باستثناء تلك التي لم تكن مفاجئة، فكانت متوقعة بجملتها لا بتفاصيلها. غير أن الاكتشافات ليست المصادر الوحيدة للتغييرات الهدامة والبناءة للبراديغمات. وفي هذا الفصل، سوف نبدأ بالنظر في الانتقالات المشابهة، لكنها الأكبر عادة، التي تنتج عن إبداع نظريات جديدة.

وبعد أن قدّمنا البرهان سابقاً على أن الواقع والنظرية في مجال

العلوم، وكذلك الاكتشاف والإبداع، ليست متمايزة بصورة دائمة وقطعية، يمكننا أن نتوقع تداخلاً بين هذا الفصل والفصل الأخير. (وإن الرأي المستحيل الذي يفيد بأن العالِم بريستلي هو أول من اكتشف الأوكسجين، وأن العالِم لافوازييه ابتدعه بعد ذلك، له جاذبياته. فقد سبق أن قوبل الأوكسجين على أنه اكتشاف، لكن سوف نقابله بعد قليل باعتباره إبداعاً). وبمعالجتنا ظهور نظريات جديدة، سوف يتوجب علينا أن نوسع فهمنا للاكتشاف أيضاً. ومع كل ذلك، يبقى التداخل غير التطابق. وإن أنواع الاكتشافات التي تم النظر فيها في الفصل الأخير، لم يكن، كل واحد منها بمفرده على الأقل، مسؤولاً عن انتقال البراديغمات، مثل الثورة الكوبرنيكية والنيوتونية (Newtonian)، والكيميائية، والإينشتاينية (Einsteinian). كما أنها لم تكن مسؤولة عن تغييرات في البراديغم أنتجتها نظرية الضوء الموجيّة، أو نظرية الحرارة الدينامية، أو نظرية ماكسويل الكهرمغناطيسية، مع أن هذه التغييرات كانت أقل من الثورات، لأنها كانت مهنية صرفة. فكيف يمكن أن تنشأ [67] نظريات مثل هذه من العلم العادي، وهو النشاط الذي توجُّهه إلى اقتفائها أقل من توجهه للاكتشافات؟

وإذا كان وعي حالات عدم التوقع يؤدي دوراً في ظهور أنواع جديدة من الظواهر، فلا يندهش أحد للقول بأن وعياً مماثلاً وأعمق هو شرط ضروري لكل التغييرات النظرية التي يمكن قبولها. وحول هذه النقطة، أظن أن الدليل التاريخي واضح وضوحاً كلياً. لقد كانت حالة علم الفلك البطليموسي بمثابة الفضيحة، قبل إعلان كوبرنيكوس عن نظريته[1]. كذلك، اعتمدت إسهامات غاليليو في دراسة الحركة اعتماداً وثيقاً على الصعوبات التي اكتشفها النقاد المدرسيون في نظرية

---

(1) Alfred Rupert Hall, *The Scientific Revolution, 1500-1800; the Formation of the Modern Scientific Attitude* (London; New York: [Longmans, Green], 1954), p. 16.

أرسطو(2). فقد نشأت نظرية نيوتن الجديدة في الضوء واللون من الاكتشاف الذي يفيد بأن النظريات التي سبق وجودها وجود البراديغم لم تشتمل على واحدة يمكنها أن تعلل طول الطيف، كما أن النظرية الموجية التي حلت محل نظرية نيوتن جرى الإعلان عنها في غمرة القلق النامي حول حالات عدم التوقع ذات الصلة بآثار ظاهرتي الحيود والاستقطاب الضوئيتين على نظرية نيوتن(3). فقد ولد علم الديناميكا الحرارية من تصادم نظريتين فيزيائيتين وجدتا في القرن التاسع عشر، ونشأ علم ميكانيكا الكَمّ من أنواع الصعوبات التي أحاطت بإشعاع الجسم الأسود، الحرارات النوعية، والظاهرة الكهرضوئية(4). علاوة على ذلك، ففي هذه الحالات كلها، ما عدا

---

(2) Marshall Clagett, *The Science of Mechanics in the Middle Ages*, University of Wisconsin Publications in Medieval Science; 4 (Madison, Wiss.: University of Wisconsin Press, 1959), parts ii-iii.

ويعرض أ. كويري عدداً من عناصر العصور الوسطى في فكر غاليليو، في: Alexandre Koyré, *Etudes galiléennes*, Actualités scientifiques et industrielles; 852-854, 3 vols (Paris: Hermann, 1939), vol. 1: *A l'aube de la science classique*.

(3) للاطلاع على نيوتن، انظر: Thomas S. Kuhn, «Newton's Optical Papers,» in: Isaac Newton, *Isaac Newton's Papers and Letters on Natural Philosophy, and Related Documents*, Edited with a General Introduction by I. Bernard Cohen; Assisted by Robert E. Schofield [et al.] (Cambridge: [Cambridge University Press], 1958), pp. 27-45.

للاطلاع على تمهيد للنظرية الموجيّة، انظر: Edmund Taylor Whittaker, *A History of the Theories of Aether and Electricity*, 2 vols. Rev. and enl. ed. (London; New York: [T. Nelson, 1951- 1953]), vol. 1: *The Classical Theories*, pp. 94-109, and William Whewell, *History of the Inductive Sciences, from the Earliest to the Present Time*, 3 vols., New ed. (London: [J. W. Parker], 1847), vol. 2, pp. 396-466.

(4) للاطلاع على الديناميكا الحرارية، انظر: Silvanus Phillips Thompson, *The Life of William Thomson, Baron Kelvin of Largs*, 2 vols. (London: [Macmillan], = 1910), vol. 1, pp. 266-281.

الحالة النيوتونية، دام وعي حالات عدم التوقع لمدة طويلة، وتغلغل تغلغلاً عميقاً، حتى ليمكن المرء أن يصف، وبحق، الحقول التي تأثرت به بأنها كانت في حالة أزمة متنامية. ولأن ظهور نظريات جديدة كان يتطلب تدميراً واسعاً للبراديغم، وتغييرات كبرى للمشكلات والآليات المعتمدة في العلم العادي، فقد كانت تسبقه، وبصورة عامة، فترةٌ من شعور مهني معلن بعدم الأمان. وكما يمكن أن يتوقع المرء، فقد كان عدم الشعور بالأمان متولداً من إخفاق [68] أحجيات العلم العادي إخفاقاً ثابتاً في الظهور كما يجب. ثم كان فشل القواعد القائمة بمثابة المقدمة للبحث عن قواعد جديدة.

لننظر أولاً إلى حالة شهيرة وخاصة من حالات تغير البراديغم، ألا وهي ظهور علم الفلك الكوبرنيكي. فعندما طُوِّر علم الفلك السابق له، أي النظام الفلكي البطليموسي، أول ما طور خلال القرنين الأخيرين قبل ميلاد المسيح والقرنين الأولين بعدهما، كان العلم ناجحاً بشكل مذهل في التنبؤ عن المواضع المتغيرة للنجوم والكواكب. ولم يوجد نظام قديم آخر قام بمثل ذلك النجاح، ولا يزال علم الفلك البطليموسي يستعمل وبشكل واسع اليوم كهندسة تقريبية مختصة بالنجوم. أما بالنسبة إلى الكواكب، فقد كانت تنبؤات بطليموس مثل تنبؤات كوبرنيكوس من حيث الجودة. لكن النجاح المدهش للنظرية العلمية لا يعتبر أبداً نجاحاً كاملاً لها. فبالنسبة إلى مواضع الكواكب ومبادرة الاعتدالين الربيعي والخريفي لم تأتِ تنبؤات نظام بطليموس متطابقة مع أفضل المشاهدات التي أمكن الحصول عليها. وقد شكل موضوع الإقلال من تلك الفروقات

= للاطلاع على نظرية الكمّ، انظر: Fritz Reiche, *The Quantum Theory*, Trans. by H. S. Hatfield and Henry L. Brose (London: [Methuen and Co.], 1922), chaps. i-ii.

الصغيرة العديد من المشكلات الرئيسة للبحث الفلكي العادي التي واجهها كثيرون من خلفاء بطليموس، تماماً مثلما وفرت محاولة مشابهة استهدفت الجمع بين المشاهدة السماوية والنظرية النيوتونية مشكلات للبحث العادي واجهت خلفاء نيوتن في القرن الثامن عشر. وكان لهؤلاء الفلكيين لبعض الوقت كل المبررات للافتراض بأن تلك المحاولات ستكون ناجحة مثل تلك التي أدت إلى نظام بطليموس. فعلى افتراض وجود افتراق ما، كان الفلكيون قادرين، من دون اختلاف، على إزالته عن طريق إجراء تعديل ما في نظام بطليموس الخاص بالدوائر المتراكبة. ولكن بمرور الزمن، صار بإمكان من ينظر إلى النتيجة الأخيرة لمحاولات البحث العادي، التي قام بها فلكيون كثيرون، أن يلاحظ أن تعقيد علم الفلك قد ازداد بأسرع بما لا يقاس من دقته، وأن تصحيح حالة افتراق في مكان كان يؤدي إلى ظهور افتراق في مكان آخر[5].

ولم تدرَك هذه الصعوبات إلا ببطء، ومردُّ ذلك يعود إلى انقطاعات خارجية متكررة أصابت التقليد الفلكي، وإلى قيود الاتصال [69] بين الفلكيين في غياب الطباعة. ولكن ما لبث أن حصل الوعي. فصار بإمكان ألفونسو (Alfonso) العاشر، في أول القرن الثالث عشر، أن يعلن قائلاً إنه لو أن الله كان قد استشاره عند خلقه العالم، لكان تلقى منه نصيحة خيّرة. وفي القرن السادس عشر، رأى زميل كوبرنيكوس، دومينيكو دا نوفارا (Domenico da Novara)، أن نظام بطليموس لا يمكن أن يكون صحيحاً في تصوير الطبيعة نظراً

(5) انظر: John Louis Emil Dreyer, *A History of Astronomy from Thales to Kepler, Formerly Titled History of the planetary systems from Thales to Kepler*, Rev. with a Foreword by W. H. Stahl, 2nd ed. (New York: [Dover Publications], 1953), chaps. xi-xii.

لتعقيداته وعدم دقته. كما كتب كوبرنيكوس نفسه في مقدمة لكتاب *De Revolutionibus* أن التقليد الفلكي الذي ورثه لم يخلق، في نهاية المطاف، سوى وحش مسخ. وفي السنين الأولى من القرن السادس عشر ازداد عدد أفضل الفلكيين الأوروبيين الذين راحوا يدركون إخفاق البراديغم الفلكي في تطبيقاته على مشكلاته التقليدية عينها. وكان ذلك الإدراك شرطاً ضرورياً لأن يرفض كوبرنيكوس البراديغم البطليموسي ولأن يبحث عن آخر جديد. ولا تزال مقدمته توفر أحد الأوصاف الكلاسيكية لحالة مأزومة(6).

وطبعاً، لم يكن انهيار النشاط التقني العادي في حلّ الأحجيات العنصر الوحيد في الأزمة الفلكية التي واجهت كوبرنيكوس. فالمعالجة الموسعة سوف تناقش، أيضاً، الضغط الاجتماعي في اتجاه إصلاح التقويم الشمسي، وهو الضغط الذي جعل أحجية مبادرة الاعتدالين مسألة ملحّة بصورة خاصة. يضاف إلى ذلك أن عرضاً أكمل سوف يأخذ بعين الاعتبار النقد الذي وجه إلى أرسطو في القرون الوسطى، وظهور المذهب الأفلاطوني الحديث (New Platonism) في عصر النهضة، وعناصر تاريخية مهمة أخرى أيضاً. غير أن الانهيار التقني سيظل هو الذي يشكل عمق الأزمة. وفي حالة علم ناضج ـ وكان علم الفلك قد بلغ هذا المستوى في القديم ـ تكون العوامل الخارجية مثل تلك التي ذكرت أعلاه مهمة بشكل أساسي في تحديد وقت الانهيار، وسهولة إدراكه، ومنطقة حدوثه الأولى، لأن هذه المنطقة تُعطى انتباهاً خاصاً. وبالرغم من كون مسائل من هذا النوع ذات أهمية عظيمة، فإنها تتعدى حدود هذه المحاولة.

---

(6) انظر: Thomas S. Kuhn, *The Copernican Revolution; Planetary Astronomy in the Development of Western Thought* (Cambridge, MA: [Harvard University Press], 1957), pp. 135-43.

إذا كان ذلك المقدار من الشرح واضحاً في حالة الثورة الكوبرنيكية، فلنتحول منه إلى مثل ثانٍ، لكنه مختلف، وهو الأزمة التي سبقت ظهور نظرية الأوكسجين للافوازييه، الخاصة بالاحتراق. ففي السبعينيات من القرن الثامن عشر تجمعت عوامل عديدة لتوليد [70] أزمة في علم الكيمياء، ولم يتفق المؤرخون حول طبيعتها أو حول أهميتها النسبية. لكن، تمت الموافقة العامة على وجود عاملين لهما أهمية خاصة، وهما: ظهور كيمياء الهواء المضغوط، ومسألة علاقات الأوزان. وكان تاريخ العامل الأول قد بدأ في القرن السابع عشر مع تطوير مضخة الهواء ونشر استعمالها في التجريب الكيميائي. وفي القرن التالي، وبعد استعمال تلك المضخة وعدد آخر من أجهزة الهواء المضغوط، توصل الكيميائيون إلى أن يدركوا إدراكاً زائداً بأن الهواء لا بد أن يكون عاملاً نشطاً في التفاعلات الكيميائية. وقد استمر الكيميائيون في اعتقادهم بأن الهواء هو النوع الوحيد من الغاز، ما خلا استثناءات قليلة ـ كانت غامضة بصورة يمكن أن لا تكون استثناءات إطلاقاً. وكان الاعتقاد السائد أن التمييز بين عينتين من الغاز لا يكون إلا بالنظر إلى عدم نقائهما، وقد حصل ذلك في عام 1756 عندما بيّن جوزيف بلاك (Joseph Black) أن الهواء الثابت CO_2 يمكن تمييزه، من دون خطأ، من الهواء العادي(7).

وبعد عمل بلاك استمر البحث في الغازات بخطى سريعة مع العلماء كافيندش (Cavendish)، وبريستلي، وسكيل، الذين طوروا معاً عدداً من الآليات الجديدة قادرة على تمييز عيّنة من غاز عن عيّنة من غاز آخر. وقد اعتقد جميع هؤلاء العلماء، ابتداء من بلاك إلى

---

(7) انظر: James Riddick Partington, *A Short History of Chemistry*, 2nd ed. (London: [n. pb.], 1951), pp. 48-51, 73-85 and 90-120.

سكيل، بنظرية الفلوجستون، وغالباً ما كانوا يوظفونها في تصميم التجارب وتفسيرها. وقد حصل فعلاً أن أنتج سكيل الأوكسجين أول ما أنتجه عن طريق سلسلة من التجارب المدروسة والمصممة لإزالة الفلوجستون من الحرارة. ومع ذلك، كانت النتيجة النهائية لتجاربهم عبارة عن عيّنات مختلفة من الغاز ومن صفات الغاز، وكانت معقدة لدرجة عجزت عندها نظرية الفلوجستون عن التعامل مع تجارب المختبر. ومع أن أيّاً من هؤلاء الكيميائيين لم يرَ ضرورة لتبديل النظرية، فإنهم كانوا عاجزين عن تطبيقها بصورة غير متناقضة. وقبل أن يبدأ لافوازييه تجاربه على أنواع الهواء في بداية السبعينيات من القرن الثامن عشر، كان عدد نسخ نظرية الفلوجستون موازياً الكيميائيين العاملين في الهواء المضغوط(8). وذلك الانتشار لنسخ من النظرية إن هو إلا عرض عادي جداً من أعراض أزمة. وقد عبّر [71] كوبرنيكوس أيضاً في مقدمته عن تذمره من وجودها.

لم يكن الغموض المتزايد والمنفعة المتناقصة لنظرية الفلوجستون الخاصة بكيمياء الهواء المضغوط المصدرين الوحيدين للأزمة التي واجهت لافوازييه الذي كان مهتماً أيضاً بشرح زيادة الوزن التي تحصل مع معظم الأجسام عند حرقها أو تسخينها تسخيناً

---

(8) ومع أن اهتمامهم الرئيس كان في فترة متأخرة قليلاً، فإن كثيراً من المواد ذات العلاقة منشور في: James Riddick Partington and Douglas McKie: «Historical Studies on the Phlogiston Theory, I: The Levity of Phlogiston,» *Annals of Science*, vol. 2 (1937), pp. 361-404; «Historical Studies on the Phlogiston Theory, II: The Negative Weight of Phlogiston,» *Annals of Science*, vol. 3 (1938), pp. 1-58; «Historical Studies on the Phlogiston Theory, III: Light and Heat in Combustion,» *Annals of Science*, vol. 3 (1938), pp. 337-371, and «Historical Studies on the Phlogiston Theory, IV: Last Phases of the Theory,» *Annals of Science*, vol. 4 (1939), pp. 113-149.

قوياً، وكانت هذه مشكلة ذات تاريخ طويل سابق. فهناك عدد قليل على الأقل من الكيميائيين الإسلاميين الذين عرفوا أن بعض المعادن يكسب وزناً عند تحميته. وقد استنتج عدد من الباحثين في القرن السابع عشر من هذه الواقعة نفسها أن المعدن المحمَّى يأخذ عنصراً ما من الجو. غير أن ذلك الاستنتاج بدا لأغلبية الكيميائيين في القرن السابع عشر استنتاجاً غير ضروري. وإذا كانت التفاعلات الكيميائية قادرة على تغيير حجم ولون وبنية العناصر المؤلفة، فلماذا لا تغير الوزن أيضاً؟ ولم يكن الوزن دائماً يعتبر قياساً لكمية المادة. فضلاً عن ذلك فقد ظل كسب الوزن عند التحمية ظاهرة منعزلة. ومعظم الأجسام الطبيعية (مثلاً، الخشب) يخسر وزنه عندما يحمّى كما اضطرت نظرية الفلوجستون أن تقول في ما بعد.

غير أنه خلال القرن الثامن عشر، أصبح الاحتفاظ بتلك الاستجابات على مشكلة كسب الوزن التي كانت كافية في البداية أكثر صعوبة. ويعود بعض سبب ذلك في جزء منه إلى زيادة استعمال الميزان كأداة كيميائية منتظمة، وفي جزئه الآخر إلى تزايد اكتشاف الكيميائيين لحالات كسب في الوزن مترافق مع التحمية، لأن تطور كيمياء الهواء المضغوط جعل من الممكن ومن المرغوب فيه الاحتفاظ بالمنتوجات الغازية للتفاعلات. وفي الوقت نفسه، كان التمثل التدريجي لنظرية نيوتن في الجاذبية قد أدى بالكيميائيين إلى أن الكسب في الوزن لا بد أن يعني زيادة في كمية المادة. ولم ينتج عن تلك النتائج رفضٌ لنظرية الفلوجستون، لأن تلك النظرية يمكن تعديلها بطرق عديدة. فربما كان للفلوجستون وزن سالب، أو قد يكون قد دخل الجسمَ المحمّى جزئياتٌ من النار أو شيء آخر حالما غادره الفلوجستون. وهناك شروح أخرى أيضاً. ولكن إذا لم تؤدِ مشكلة كسب الوزن إلى الرفض، إلا أنها قد أدت بالتأكيد إلى تزايد

[72] في عدد الدراسات الخاصة التي تضخمت فيها هذه المشكلة. وكانت إحدى هذه الدراسات بعنوان: «عن الفلوجستون باعتباره مادة ذات وزن و[محلّلة] بدلالة تغيرات الوزن التي ينتجها في الأجسام التي يتحد بها»، وقد قرئت في الأكاديمية الفرنسية في مطلع عام 1772، وهو العام الذي انتهى بتسليم لافوازييه ملاحظته المختومة لسكرتير الأكاديمية. وقبل أن تكتب تلك الملاحظة، ثمة مشكلة كانت عالقة في طرف وعي الكيميائي لسنوات عديدة قد أصبحت أحجية بارزة ومن دون حل[9]. وقد صيغت، وبإتقان، نسخ من نظرية الفلوجستون لمواجهتها. لكن، ومثلما حدث في مشكلات كيمياء الهواء المضغوط، فقد صعّبت مشكلات كسب الوزن أكثر فأكثر معرفة نظرية الفلوجستون. وبالرغم من استمرار الاعتقاد والثقة به كأداة عمل، فإن براديغم الكيمياء في القرن الثامن عشر راح يفقد شيئاً فشيئاً مركزه الفريد. وتشابه البحث الذي قاده، بصورة متزايدة، مع ذلك الذي أجري من قبل المدارس المتنافسة لفترة ما قبل البراديغم، فكان مثله نتيجة من النوع الذي ينجم عن أزمة.

لنأخذ الآن بعين الاعتبار مثلاً ثالثاً وأخيراً، ألا وهو أزمة علم الفيزياء في أواخر القرن التاسع عشر التي أَعدت الطريق لظهور نظرية النسبية. يمكن تتبع أحد جذور تلك الأزمة إلى أواخر القرن السابع عشر عندما انتقد عدد من الفلاسفة الطبيعيين، وأبرزهم الفيلسوف لايبنتز، استبقاء العالم نيوتن بنسخة مُحدَثة من المفهوم الكلاسيكي

(9) انظر: Henry Guerlac, *Lavoisier - the Crucial Year: The Background and Origin of His First Experiments on Combustion in 1772* (Ithaca, NY: [Cornell University Press], 1961).

والكتاب، بمجمله، يوثق نشوء الأزمة وبداية معرفتها. وللإطلاع على بيان واضح عن الموقف بالنسبة إلى لافوازييه، انظر: المصدر المذكور، ص 35.

للمكان المطلق[10]. وقد اقتربوا جداً، وإن لم يكن اقتراباً كاملاً، من التمكن من أن يبينوا أن المواضع المطلقة والحركات المطلقة عديمة الوظيفة في نظام نيوتن، ونجحوا في التلميح إلى الجاذبية الجمالية المهمة التي سوف يَكْشِفُ عنها في ما بعد مفهومٌ للمكان وللحركة نسبيّ كله. إلا أن نقدهم كان نقداً منطقياً صرفاً. فكانوا مثل أتباع كوبرنيكوس الأوائل الذين انتقدوا براهين أرسطو المتعلقة بثبات الأرض، فلم يحلموا بأن الانتقال إلى نظام نسبيّ سيكون له نتائج تتعلق بالمشاهدة. ولم يصلوا، في أي مكان، آراءهم بالمشكلات التي نشأت عند تطبيق النظرية النيوتونية على الطبيعة. وكانت النتيجة موتاً لآرائهم ترافق مع موتهم خلال العقود الأولى من القرن الثامن [73] عشر، ولم تُبعث تلك الآراء إلا في العقود الأخيرة للقرن التاسع عشر، عندما صار لها علاقة مختلفة جداً بممارسة الفيزياء.

بدأت المشكلات التقنية التي كان على فلسفة المكان النسبية أن ترتبط بها، في نهاية المطاف، بالدخول إلى العلم العادي مع قبول النظرية الموجبة للضوء بعد عام 1815 تقريباً، مع أنها لم تثر أزمة حتى التسعينيات من القرن التاسع عشر. فإذا كان الضوء حركة موجية منتشرة في أثير ميكانيكي محكوم بقوانين نيوتن، لأصبح لرصد السماء وتجارب الأرض الإمكانية القادرة على كشف الانسياق في الأثير. ومن بين مشاهدات السماء لم تعطِ إلا مشاهدات الزيغ دقة كافية بخصوص المعلومات ذات الصلة، ولذا صار كشف انسياق الأثير بواسطة قياسات الزيغ مشكلة معترفاً بها في البحث العادي. وقد تم إنشاء جهاز خاص لحل هذه المشكلة. غير أن ذلك الجهاز

---

(10) انظر: Max Jammer, *Concepts of Space; the History of Theories of Space in Physics*, Foreword by Albert Einstein (Cambridge, MA: [Harvard University Press], 1954), pp. 114-124.

لم يكشف انسياقاً يمكن مشاهدته، فانتقلت المشكلة من التجريبيين والمشاهدين إلى صنّاع النظريات. وخلال العقود المتوسطة للقرن، ابتكر كل من فرزنيل (Fresnel) وستوكس (Stokes) وآخرون صياغات كثيرة لنظرية الأثير لشرح الفشل في مشاهدة الانسياق. وافترض كل من هذه الصياغات أن الجسم المتحرك يجر جزءاً ما من الأثير معه. كما نجحت كل واحدة من تلك الصياغات نجاحاً كافياً في شرح النتائج السلبية، غير مقتصرة في ذلك على المشاهدات السماوية، بل كانت شاملة بشرحها التجارب الأرضية أيضاً، بما في ذلك التجربة المشهورة التي قام بها مايكلسون (Michelson) ومورلي (Morley)[11]. وفي ما عدا التضارب بين الصياغات المختلفة، لم يكن قد حصل أي نزاع بعد. وفي غياب تقنيات تجريبية ذات صلة، لم يصر ذلك النزاع حاداً.

لم يتغير الموقف، مرة ثانية، إلا مع القبول التدريجي لنظرية ماكسويل الكهرمغناطيسية في العقدين الأخيرين من القرن التاسع عشر. وكان ماكسويل نفسه من أتباع نيوتن، فاعتقد أن الضوء والظواهر الكهرمغناطيسية تعود، بصورة عامة، إلى إزاحات متغيرة لجسيمات أثير ميكانيكي. وكانت النسخ الأولى لنظرية في الكهرباء والمغناطيسية قد استعملت بطريقة مباشرة صفات افتراضية منحها هو [74] لهذا الوسط الأثيري. ومع أن هذه الصفات أسقطت من نسخته الأخيرة، فقد ظل معتقداً أن نظريته الكهرمغناطيسية متسقة مع صيغة ما من صيغ نظرة نيوتن الميكانيكية[12]. فقد كانت صياغة مناسبة

(11) انظر: Joseph Larmor, *Aether and Matter...Including a Discussion of the Influence of the Earth's Motion on Optical Phenomena* (Cambridge: [n. pb.], 1900), pp. 6-20 and 320-322.

(12) انظر: Richard Tetley Glazebrook, *James Clerk Maxwell and Modern* =

تشكّل تحدياً له ولخلفه. وقد ثبت من الناحية العملية وكما حدث تكراراً في الممارسة في مجرى التطور العلمي، أن الصياغة المطلوبة صعب إنتاجها بصورة عظيمة. وتماماً كما خلق اقتراح كوبرنيكوس الفلكي، رغم تفاؤل صاحبه، أزمة متنامية لنظريات الحركة القائمة، كذلك أنتجت نظرية ماكسويل في النهاية، وبالرغم من أصلها النيوتوني، أزمة للبراديغم الذي انبثقت منه[13]. وزيادة على ذلك، فإن المحل الذي اشتدت فيه حدة الأزمة قد وفرته المشكلات التي كنا بصدد اعتبارها منذ قليل، وهي مشكلات الحركة بالنسبة إلى الأثير.

لم تشر مناقشة ماكسويل لسلوك الأجسام الكهرمغناطيسية في الحركة إلى ظاهرة جرّها للأثير، كما ثبت أن إدخال مثل ذلك الجرّ في النظرية صعب للغاية. وكنتيجة لذلك، صارت سلسلة كاملة من المشاهدات السابقة المصممة لاكتشاف الانسياق في الأثير غير متوقعة. لذا شهدت سنوات ما بعد عام 1890 سلسلة طويلة من المحاولات، التجريبية والنظرية، لاكتشاف الحركة بالنسبة إلى الأثير، ولإدخال ظاهرة الجرّ الأثيري في صلب نظرية ماكسويل. وقد أخفقت المحاولات من النوع الأول بصورة منتظمة، بالرغم من أن بعض المحللين رأى أن النتائج كانت مبهمة. أما محاولات النوع الثاني فقد أنتجت بدايات واعدة، وبخاصة ما فعله لورنتز (Lorentz)

= *Physics*, Century Science Series (London: [Cassell and Co.], 1896), chap. ix

لمعرفة موقف ماكسويل النهائي، انظر: James Clerk Maxwell, *A Treatise on Electricity and Magnetism*, Clarendon Press Series, 2 vols., 3rd ed. (Oxford: [Clarendon press], 1892), p. 470.

(13) للاطلاع على دور علم الفلك في تطوير الميكانيكا، انظر: Kuhn, *The Copernican Revolution; Planetary Astronomy in the Development of Western Thought*, chap. vii.

وفيتزجيرالد (Fitzgerald)، لكنها تكشفت أيضاً عن أحجيات، وانتهت أخيراً بتكاثر النظريات المتنافسة التي سبق أن وجدناها مولّدة للأزمات[14]. وعلى خلفية ذلك الوضع التاريخي، ظهرت النظرية النسبية الخاصة لإينشتاين في عام 1905.

هذه الأمثلة الثلاثة هي تقريباً أمثلة نمطية بالكامل. ففي كل حالة، لم تكن تظهر نظرية جديدة إلا بعد فشل معلن في النشاط [75] العادي لحل المشكلات. وباستثناء حالة كوبرنيكوس التي أدت فيها عوالم خارجة عن مجال العلم دوراً كبيراً، كان ذلك الفشل، وتكاثر النظريات الذي كان علامته، حدثا قبل الإعلان عن النظرية الجديدة بعقد من الزمن، أو عقدين، وليس أكثر. وقد بدت النظرية الجديدة استجابة مباشرة لأزمة. ولتلاحظ أيضاً أن المشكلات التي حدث الفشل بالنسبة إليها، كانت كلها من نمط سبق إدراكه لمدة طويلة، بالرغم من أن هذا قد لا يكون نمطياً تماماً. وقد أعطت الممارسة السابقة للعلم العادي كل مبرر لاعتبار تلك المشكلات محلولة أو غير محلولة، كلها، وهذا يساعد على شرح السبب في إمكانية أن يكون الشعور بالفشل، عندما يحل، شعوراً حاداً بمثل تلك الحدة. إن الفشل مع نوع جديد من المشكلات غالباً ما يكونُ مخيباً للآمال، لكنه لا يكون مفاجئاً أبداً. فغالباً، لا تستسلم المشكلات أو الأحجيات للهجوم الأول. وأخيراً تشترك هذه الأمثلة بميزة أخرى يمكنها أن تفيد في شرح الدور المؤثر للأزمة: لقد كان حل كل واحد منها متوقعاً بصورة جزئية خلال فترة خالية من الأزمات في العلم المقابل، وفي غياب الأزمة تم تجاهل تلك التوقعات.

(14) انظر: Whittaker, *A History of the Theories of Aether and Electricity*, vol. 1: *The Classical Theories*, pp. 386-410 and vol. 2: *The Modern Theories, 1900-1926*, pp. 27-40.

إن التوقع الكامل الوحيد هو أيضاً التوقع الأكثر شهرة، وهو توقع أريستاخوس (Aristachus) عن كوبرنيكوس في القرن الثالث قبل الميلاد. ولطالما قيل إنه لو كان العلم اليوناني أقل عملاً بمنهج الاستدلال المنطقي، وأقل خضوعاً للثوابت الفكرية الجامدة، لكان علم الفلك القائل بمركزية الشمس قد بدأ تطويره قبل حصوله بثمانية قرون[15]. لكن في ذلك تجاهل لكل السياق التاريخي. فعندما وضع أريستاخوس فكرته، لم يكن لنظام مركزية الأرض، الذي كان أكثر معقولية وانتشاراً، حاجات يمكن التصور بأن نظام مركزية الشمس سيحققها. وإن تطور علم الفلك البطليموسي كله، بما في ذلك انتصاراته وانهياراته، حدث في القرون التي تلت اقتراح أريستاخوس. إلى جانب ذلك، لم يكن هناك أسباب واضحة لتناول مسألة أريستاخوس تناولاً جدياً. حتى إن اقتراح كوبرنيكوس ذا الصياغة الأكثر إحكاماً لم يكن أبسط ولا كان أصح من نظام بطليموس. إن تجارب المشاهدات التي أمكن الحصول عليها، كما سوف نرى بوضوح أدناه، لم توفر أساساً للاختيار بينهما. وفي ظل هذه الظروف، كان أحد [76] العوامل الذي أدى بالفلكيين إلى كوبرنيكوس (وهو العامل الذي ما كان باستطاعته أن يؤدي بهم إلى أريستاخوس) هو الأزمة التي حصل إدراك لها، والتي كانت مسؤولة عن إحداث تجديد في المقام الأول.

---

(15) لأعمال أريستارخوس، انظر: Thomas Little Heath, *Aristarchus of Samos, the Ancient Copernicus. A History of Greek Astronomy to Aristarchus, Together with Aristarchus's Treatise on the Sizes and Distances of the Sun and Moon: A New Greek Text with Translation and Notes* (Oxford: [Clarendon press], 1913), part ii.

للحصول على بيان متطرف عن الوضع التقليدي الخاص بإهمال إنجاز أريستاخوس، انظر: Arthur Koestler, *The sleepwalkers: A History of Man's Changing Vision of the Universe*, with an Introduction by Herbert Butterfield (London: [n. pb.], 1959), p. 50.

لقد أخفق علم فلك بطليموس في حل مشكلاته، وآن الأوان لإفساح المجال لنظرية منافسة. لم يوفر لنا المثلان الآخران توقعات كاملة مشابهة. ولكن من المؤكد أن أحد الأسباب الذي يفسر لماذا أخفقت نظريات الاحتراق بواسطة الامتصاص من الجو في أن تلقى آذاناً صاغية كافية، هو أنها لم تتصل ببقعة ذات اضطراب مدرك في الممارسة العلمية العادية[16] ـ وتجدر الإشارة إلى أن تلك النظريات كانت قد طورت في القرن السابع عشر على يد ري (Rey)، وهوك (Hooke)، ومييو (Mayow). كما أن الإهمال الطويل الذي حصل من علماء القرنين الثامن عشر والتاسع عشر لنقاد نيوتن القائلين بالنسبية، لا بد أن يكون مردّه إلى إخفاق مماثل في المجابهة.

لطالما برهن فلاسفة العلم تكراراً على أنه يمكن دائماً وضع أكثر من بناء نظري على مجموعة معينة من المعطيات. كما أن تاريخ العلم يدل، وبخاصة في المراحل الأولى لتطور براديغم جديد، على أن اختراع مثل تلك البدائل ليس بتلك الصعوبة الجمة. لكن ذلك الاختراع للبدائل هو نادراً ما يقوم به العلماء إلا خلال مرحلة ما قبل البراديغم من مراحل تطور علمهم وفي مناسبات خاصة جداً خلال نشوئه اللاحق. وكلما استمرت الأدوات التي يقدمها البراديغم في إثبات قدرتها على حل المشكلات التي يحددها، يتحرك العلم بأسرع ما يمكن، ويتغلغل تغلغلاً عميقاً باستعماله الواثق لتلك الأدوات. أما السبب فواضح. فكما في الصناعة كذلك في العلم، إن تجديد الأدوات إسراف يجب احتفاظ العمل به للمناسبة التي تتطلبه. وإن أهمية الأزمات تَمْثُل في الإشارة التي توفرها إلى أن مناسبة تجديد الأدوات قد حلت.

(16) انظر: Partington, *A Short History of Chemistry*, pp. 78-85.

VIII

الاستجابة للأزمة

إذاً، لنفترض أن الأزمات هي شرط مسبق وضروري لظهور نظريات جديدة، ولنسأل، بالتالي، عن كيفية استجابة العلماء إليها حال وجودها. وكما هو واضح ومهم في آن، فإن بعض الإجابة يمكن اكتشافه بملاحظة أولاً ما لا يفعله العلماء عندما يواجَهون بظواهر عدم توقع قاسية وطويلة. ومع أنهم قد يبدأون بفقد الإيمان والبدء في اعتبار البدائل، فإنهم لا يتخلون عن البراديغم الذي قادهم إلى الأزمة. فهم لا يتعاملون مع حالات عدم التوقع كما لو أنها أمثلة مناقضة، مع أنها، كذلك في مصطلحات فلسفة العلم. وهذا التعميم هو ببساطة وبصورة جزئية، قول مستفاد من الحقيقة التاريخية، مبني على أمثلة كالتي أعطيت أعلاه، وبصورة أوسع، أدناه. فهي تلمّح إلى ما سيكشفه بصورة أكمل فَحْصُنا الأخير لمسألة رفض البراديغم: أي إنه عندما تحقق النظرية العلمية مرتبة البراديغم، فإنها لا تعلَن غير صالحة إلاّ إذا أمكن الحصول على مرشح بديل ليحل محلها. فالدرس التاريخي للتطور العلمي لم يكشف إطلاقاً عن عملية تشبه النمط المنهجي للبرهان على فساد نظرية بواسطة مقارنتها المباشرة مع

الطبيعة. ولا تعني تلك الملاحظة أن العلماء لا يرفضون النظريات العلمية، ولا تعني أن الخبرة والتجربة ليستا جوهريتين لعملية رفضهم. لكنها تعني بالتأكيد ـ وهو ما سوف يكون نقطة مركزية في النهاية ـ أن الحكم الذي يؤدي بالعلماء إلى رفض نظرية كانت مقبولة سابقاً يكون دائماً مبنياً على أكثر من مجرد مقارنة لتلك النظرية مع العالَم. إن قرار رفض براديغم يكون دائماً متزامناً مع قرار قبول براديغم آخر، وإن الحكم المؤدي إلى ذلك القرار يشتمل على مقارنة البراديغمين مع الطبيعة ومقارنتهما أحدهما بالآخر.

وهناك، بالإضافة إلى ذلك، سببٌ ثانٍ للشك بفكرة أن العلماء يرفضون البراديغمات لأنهم يواجَهون بظواهر عدم توقع أو أمثلة مناقضة. وفي تطويري لهذا السبب، فإن حجتي ذاتها سوف تؤذن بوجود أطروحة أخرى من الأطروحات الأساسية لهذه المحاولة. لقد كانت أسباب الشك المذكورة أعلاه مجرد أسباب واقعية، أي إنها [78] كانت نفسها أمثلة متناقضة مع نظرية المعرفة السائدة. وباعتبارها كذلك، وعلى افتراض صحة وجهة نظري، فإن أقصى ما تستطيع هو أن تساعد على خلق أزمة، أو وبكلام أصح على تقوية أزمة سبق وجودها. وهي أمثلة لا تقدر بحد ذاتها، ولن تفعل، على إثبات فساد تلك النظرية الفلسفية، لأن المدافعين عنها سيفعلون ما رأينا أنَ العلماء يفعلونه عندما يواجَهون بظاهرة عدم توقع. فهم سيبتكرون صيغاً عديدة ويُجرون تعديلات خصوصية في نظريتهم لكي يزيلوا أي تناقض ظاهري. والواقع أن الكثير من التعديلات والتقييدات ذات الصلة موجود في أدبيات البحث العلمي. وتكون النتيجة أنه إذا كان لا بد لهذه الأمثلة المناقضة أن تشكل أكثر من ظاهرة إزعاج صغيرة، فذلك لأنها تساعد على السماح بظهور تحليل جديد ومختلف للعلم لا يظل، فيه، مصدراً لمشاكل. ثم، إذا طبقت هنا صورة نمطية

سوف نشاهدها في ما بعد في الثورات العلمية، فعندئذ، لا تظل ظواهر عدم التوقع هذه تبدو مجرد وقائع. فبدلاً من ذلك، يمكن أن تبدو من داخل نظرية جديدة للمعرفة العلمية مشابهة كثيراً للقضايا التحليلية، أي لجمل تصف حالات لا يمكن تصورها على أنها غير ذلك.

لطالما لوحظ، على سبيل المثال، أن قانون نيوتن الثاني في الحركة، وهو الذي استغرق تحقيقه قروناً من البحث الواقعي والنظري، يسلك في نظر أولئك الملتزمين بنظرية نيوتن سلوكاً يشبه إلى حد كبير سلوك قضية منطقية صرف، لا يقدر على دحضها أي مقدار من المشاهدات[1]. وفي الفصل العاشر، سوف نرى أن القانون الكيميائي المختص بالنسب الثابتة، وهو الذي كان قبل دالتون (Dalton) اكتشافاً تجريبياً عرضياً ذا عمومية مشكوك فيها، صار، بعد عمل دالتون عنصراً من عناصر تعريف المركّب الكيميائي لا يفسده أي عمل تجريبي في حد ذاته. وسوف يحدث أيضاً شيء شبيه كثيراً بذلك التعميم الذي مفاده أن العلماء اخفقوا في رفض البراديغمات عندما ووجهوا بظواهر عدم توقع أو بالأمثلة المناقضة. فليس بمقدورهم أن يفعلوا ذلك وأن يظلوا علماء.

ومع أن من المستبعد أن يذكر التاريخ أسماء بعض الأشخاص في سجلّه، فإن هؤلاء قد سبقوا من دون ريب إلى هجر العلم بسبب [79] عجزهم عن تحمّل الأزمة. والعلماء الخلاقون، كالفنانين، يجب أن يكونوا أحياناً قادرين على العيش في عالم مقطوع الاتصال بغيره - وقد وصفت تلك الضرورة في مكان آخر بأنها «التوتر الجوهري»

---

(1) انظر بشكل خاص المناقشة الموجودة في: Norwood Russell Hanson, *Patterns of Discovery; an Inquiry into the Conceptual Foundations of Science* (Cambridge, Ma: [Cambridge University Press], 1958), pp. 99-105.

المتضمن في البحث العلمي[2]. لكن ذلك الرفض للعلم لمصلحة وظيفة أخرى هو في اعتقادي النوع الوحيد من أنواع رفض البراديغم، الذي تستطيع الأمثلة المناقضة بحد ذاتها أن تقود إليه. وحالما يوجد براديغم أول للنظر إلى الطبيعة من خلاله، ينعدم شيء كالبحث في غياب أي براديغم. وإن رفض براديغم واحد من دون استبداله في الوقت نفسه ببراديغم آخر هو رفض للعلم ذاته. ولا ينعكس ذلك العمل على البراديغم وإنما على الإنسان. ومن المؤكد أن ينظر إليه، من قبل زملائه، كما ينظر إلى «النجار الذي يضع اللوم على أدواته».

وهذه النقطة نفسها يمكن جعلها ذات فعالية مساوية على الأقل في حال عكسها بالقول: لا وجود لشيء كالبحث من دون أمثلة مناقضة. إذ ما الذي يفرّق بين العلم العادي والعلم المأزوم؟ من المؤكد أنه ليس لأن العلم العادي لا يواجه أمثلة مناقضة. بل على العكس، فما كنا قد دعوناه في السابق الأحجيات التي تؤلف العلم العادي لم توجد إلا لعدم وجود براديغم وفر أساساً للبحث العلمي وحل مشكلاته، كلها بشكل كامل. والعدد القليل جداً الذي بدا أنه قدر على فعل ذلك (مثلاً، البصريات الهندسية) توقف بعد مدة قصيرة عن إنتاج مشكلات بحثية، وصار بدلاً من ذلك أدوات للهندسة. وفيما عدا تلك المشكلات المفيدة بصورة حصرية، فإن كل

---

(2) انظر: Thomas S. Kuhn, «The Essential Tension: Tradition and Innovation in Scientific Research,» Paper Presented at: *The Third (1959) University of Utah Research Conference on the Identification of Scientific Talent*, Edited by C. Taylor (Salt Lake City: [University of Utah Press], 1959), pp. 162-177.

للاطلاع على ظاهرة مماثلة بين الفنانين، انظر: Frank Barron, «The Psychology of Imagination,» *Scientific American*, vol. 199 (September 1958), pp. 151-166, esp. p. 160.

مشكلة يراها العلم العادي أحجيةً، يمكن رؤيتها، من وجهة نظر أخرى، على أنها مثل مناقض، وبالتالي كمصدر من مصادر أزمة. فما رآه كوبرنيكوس على أنه أمثلة مناقضة كان قد رآه معظم خلفاء بطليموس الآخرون على أنه أحجيات في حالة المطابقة التقابلية ما بين المشاهدة والنظرية. وكان لافوازييه قد اعتبر مثلاً مناقضاً ما كان بريستلي قد اعتبره أحجية محلولة بنجاح في صياغة نظرية الفلوجستون. وقد اعتبر إينشتاين أمثلةً مناقضة ما كان لورنتز، وفيتزجيرالد، وآخرون قد اعتبروه أحجيات في صياغتي نظريتي نيوتن وماكسويل. زيادة على ذلك، فإن وجود الأزمة بحد ذاته لا يحّول [80] أحجيةً إلى مثل مناقض. فلا وجود لحدّ فاصل بينهما. فبدلاً من ذلك، ومع تكاثر نسخ البراديغم، تخفِّف الأزمة من قواعد حل الأحجيات العادي بطرق تسمح في النهاية بظهور براديغم جديد. وباعتقادي أن هناك بديلين فقط: فإما أن النظرية العلمية لا تواجه أبداً مثلاً مناقضاً، أو كل النظريات تواجه أمثلة مناقضة في كل الأوقات.

فكيف أمكن أن يبدو الموقف خلاف ذلك؟ يقودنا ذلك السؤال بالضرورة إلى ما قدمته الفلسفة من توضيح تاريخي ونقدي، وتلك الموضوعات لا تجوز هنا. لكننا نستطيع في الحد الأدنى أن نفكر بسببين يفسران لماذا بدا أن العلم يوفر توضيحاً مناسباً كهذا للتعميم المفيد بأن صدق وفساد النظريات يُحدَّدان بصورة فريدة وواضحة عن طريق مواجهة النظرية بالواقع. فالعلم العادي يجهد، بل عليه أن يجهد باستمرار، لتقريب النظرية والواقع من أحدهما من الآخر، وكان ينظر وبسهولة إلى ذلك النشاط على أنه اختبار، أو على أنه بحث عن تحقق النظرية أو فسادها. عوضاً عن ذلك، يجب أن يكون هدفه حلّ أحجيةٍ حلاً يتوقّف وجوده ذاته على افتراض صحة البراديغم. والفشل في تحقيق حل يبعد الثقة بالعالم فقط، لا بالنظرية. وهنا، وبدرجة أكبر مما ورد أعلاه، ينطبق المثل السائر: «النجار

قليل البراعة يضع اللوم على أدواته». يضاف إلى ذلك أن الطريقة التي بها تربط التربية العلمية مناقشة نظرية ما بملاحظات عن تطبيقاتها الشارحة لها قد ساعدت على تقوية نظرية التحقق المستمدة بصورة كبيرة من مصادر أخرى. وإذا افترضنا وجود أقل الأسباب لفعل ذلك، فهو في مثل الشخص الذي يقرأ نصاً علمياً ثم يتمكن، بسهولة من اعتبار تطبيقات النظرية برهاناً عليه، أي أسباب وجوب الاعتقاد بها. لكن طلاب العلم يقبلون النظريات استناداً إلى السلطة العلمية للمدرِّس وللكتاب المدرسي، وليس لوجود دليل. فما هي البدائل المتوافرة لهم، أو ما هي الكفاءة التي يملكون؟ إن التطبيقات المعطاة في الكتب المدرسية لم توضع باعتبارها دليلاً، بل لأن تعليمها جزء من تعلم البراديغم الذي هو في أساس الممارسة الجارية. وإذا كانت التطبيقات قد قدمت كدليل على صحة النظرية، تكون النتيجة عندئذ أن فشل الكتب المدرسية في اقتراح تفسيرات بديلة، أو في مناقشة مشكلات أخفق العلماء في إنتاج حلول لها مستمدة من البراديغم، سوف يحكم على مؤلفيها بالانحياز المتطرف. [81] لكن لا وجود لأقل سبب يقضي بمثل هذا الاتهام.

وبالعودة إلى السؤال البدئي، كيف يستجيب العلماء إذن عند إدراكهم الوجود بوجود ظاهرة عدم توقع في لائحة التطابق ما بين النظرية والطبيعة؟ إن ما قيل قبل قليل يدل على أن افتراقاً أكبر مما جرى اختباره في تطبيقات أخرى للنظرية لا يتطلب استجابة عميقة جداً. فهناك، دائماً، بعض الافتراقات. حتى إن أكثرها عناداً يستجيب عادة للممارسة العادية في نهاية المطاف. وفي معظم الأحيان يرغب العلماء في الانتظار، وبخاصة إذا وجدت مشكلات كثيرة في أقسام أخرى من الحقل المعرفي. وقد سبق لنا أن لاحظنا، على سبيل المثال، أنه، وخلال الأعوام الستين التي تلت قيام نيوتن بحساباته الأولى، كانت الحركة المتوقعة لحضيض القمر مجرد نصف الحركة

التي تم رصدها. وطيلة مدة الصراع الفاشل مع هذا الافتراق الشهير الذي خاضه باستمرار أشهر الفيزيائيين الرياضيين في أوروبا، وجدت بين الحين والآخر اقتراحات لتعديل قانون التربيع العكسي لنيوتن. إلا أن أحداً لم يأخذ هذه الاقتراحات على محمل الجد، وقد ثبت في الممارسة، أن هذا الصبر على ظاهرة عدم توقع كبرى كان له ما يبرره. ففي عام 1750 تمكّن كليرو (Clairaut) من أن يبين أن رياضيات التطبيق وحدها كانت خاطئة، وأن نظرية نيوتن ظلت صامدة كما كانت عليه في الماضي[3]. وحتى في الحالات التي لا يبدو فيها إمكان وقوع مجرد خطأ (وربما يكون ذلك لأن الرياضيات المستعملة أبسط أو أنها من نوع مألوف وناجح في محلات أخرى)، فإن ظاهرة عدم التوقع التي تكون مستمرة ومدركة لا تثير دائماً أزمة. فلم يتساءل أحد جدياً حول صحة نظرية نيوتن بسبب وجود افتراقات مدركة منذ زمن طويل بين التنبؤات المستمدة من تلك النظرية وسرعة الصوت وحركة كوكب عطارد. وقد وجد حل للافتراق الأول في نهاية المطاف وبصورة غير متوقعة، في تجارب على الحرارة أجريت لهدف مغاير تماماً. وتلاشى الافتراق الثاني مع ظهور النظرية العامة للنسبية، بعد أزمة لم يكن له دور في خلقها[4]. وكان واضحاً أن [82]

(3) انظر: William Whewell, *History of the Inductive Sciences, from the Earliest to the Present Time*, 3 vols., Rev. ed. (London: [J. W. Parker], 1847), vol. 2, pp. 220-221.

(4) لمعرفة ما يتعلق بسرعة الصوت، انظر: Thomas S. Kuhn, «The Caloric Theory of Adiabatic Compression,» *Isis*, vol. 49 (1958), pp. 136-137.

لمعرفة عن الانتقال الزمني لأقرب نقطة للكوكب عطارد من الشمس، انظر: Edmund Taylor Whittaker, *A History of the Theories of Aether and Electricity*, 2 vols., Rev. and enl. ed. (London; New York: [T. Nelson, 1951-1953]), vol. 2: *The Modern Theories, 1900-1926*, pp. 151 and 179.

وجود أي من الافتراقين لم يكن جوهرياً لإثارة القلق الذي يرافق الأزمة. فيمكن اعتبارهما على أنهما من الأمثلة المناقضة، ويوضعان جانباً لعمل ما في ما بعد.

وتكون النتيجة أنه لكي تثير ظاهرة عدم توقع أزمة، لا بد لها أن تكون أكثر من مجرد ظاهرة عدم توقع. فهناك في مكان ما صعوبات على الدوام في مسألة التلاؤم ما بين البراديغم والطبيعة، ومعظمها يُصحَّح عاجلاً أو آجلاً، وغالباً ما يكون التصحيح بفضل عمليات لم يكن من الممكن التنبؤ بها. والعالِم الذي يتوقف ليفحص كل ظاهرة عدم توقع يلاحظها، لا ينتج عملاً مهماً إلا نادراً. لذا وجب علينا أن نسأل عما يجعل ظاهرة عدم توقع جديرة بفحص منظّم، غير أنه من المحتمل أن لا يوجد جواب عامّ كامل عن ذلك السؤال. وما الحالات التي سبق أن درسناها إلا حالات بارزة لكنها ليست معيارية ليقاس عليها. ويحدث أحياناً، أن تثير ظاهرة عدم توقع، بشكل واضح تساؤلاً حول تعميمات صريحة وجوهرية للبراديغم، كما حصل، في مسألة انسياق الأثير مع أولئك الذين قبلوا بنظرية ماكسويل. أو كما حصل في تطور الثورة الكوبرنيكية عندما كان من الممكن أن تثير ظاهرة عدم توقع عديمة المعنى الجوهري أزمة لو أن التطبيقات التي تمنعها كان لها أهمية عملية خاصة، وفي هذه الحالة على تصميم الروزنامة وعلم التنجيم. أو كما حدث في حالة علم كيمياء القرن الثامن عشر، كان من الممكن أن يحوّل تطوّر العلم العادي ظاهرة عدم توقع سبق لها أن كانت مجرد حالة مزعجة ليس إلا إلى مصدر لأزمة: صار لمشكلة علاقات الوزن وضعية مختلفة بعد تطور آليات كيمياء الهواء المضغوط. ويمكن افتراض وجود ظروف أخرى تجعل ظاهرة عدم التوقع ذات ضغط خاص، وعادة ما يتحد عدد من هذه الظروف لإحداث ذلك. وعلى سبيل المثال، فقد سبق أن لاحظنا أن أحد مصادر الأزمة التي واجهت

كوبرنيكوس كان مجرد طول المدة الزمنية التي تعارك خلالها، وبغير نجاح، مع مسألة تخفيض عدد الافتراقات المتبقية في نظام بطليموس.

وعندما تبدو ظاهرة عدم توقع، لهذه الأسباب أو لأسباب أخرى مماثلة لها، أكثر من مجرد أحجية من أحجيات العلم العادي، فستكون بذلك بداية الانتقال إلى أزمة وإلى علم غير عادي. ويدرك أصحاب المهنة في هذه الحالة أن ظاهرة عدم انتظام التوقع ذاتها هي كذلك، بصورة عامة. ويكرس لها انتباه متزايد من قبل عدد متزايد من الأشخاص البارزين في المجال العلمي. وإذا استمرت مقاومة الظاهرة، وهذا ما لا يحدث عادة، فإن الكثير من العلماء يعتبر أن حلها هو مادة نظامهم المعرفي ذاتها. ولن يعود المجال بالنسبة إليهم [83] تماماً مثلما كان يبدو من قبل. ذلك أن جزءاً من مظهره المختلف ينتج ببساطة من نقطة تركيز الفحص العلمي الجديدة. وهناك مصدر للتغيير أكثر أهمية يَمْثُلُ في الطبيعة المخالفة للحلول الجزئية العديدة التي كان للانتباه المنظم الموجه إلى المشكلة الفضل في حصولها. وقد كان من المنتظر أن تتبع الهجمات الأولى على المشكلة المقاومة قواعد البراديغم بدقة. ولكن مع استمرار المقاومة كان تزايد الهجمات على المشكلة سيشمل صياغة صغيرة للبراديغم أو صياغة ليست بذلك الصغر، ولن تكون الصياغتان متماثلتين تماماً، وتكون كل واحدة ناجحة، ولكن نجاحها ليس كافياً لتصبح مقبولة لدى الجماعة كبراديغم. وبفضل تكاثر الصياغات المتباعدة (والتي سيكثر وصفها بالتعديلات ذات الأهداف الخاصة المنفردة)، ستزداد قواعد العلم العادي غموضاً. وبالرغم من استمرار وجود براديغم، فإن نفراً قليلاً من الممارسين متفق على ماهيته. وحتى الحلول العادية السابقة لمشكلات محلولة صارت موضع تساؤل.

وعندما يصبح هذا الموقف حاداً، فإن العلماء المعنيين

سيعترفون به. وقد شكا كوبرنيكوس من أن علماء الفلك في زمانه كانوا «متناقضين في تحرياتهم [الفلكية]... حتى إنهم لا يقدرون على شرح أو مشاهدة الطول الثابت لسنة الفصول». وتابع كوبرنيكوس قائلاً: «وحالهم كحال الفنّان الذي عليه أن يجمع أيدي، وأقدام، ورأس، وأعضاء أخرى لصورة، من براديغمات مختلفة، ويرسم كل جزء بامتياز، لكن لا علاقة لها بجسم واحد، ولفقدان تطابق بعضها مع بعضها الآخر، تكون النتيجة وحشاً وليس إنساناً»(5). كما إن إينشتاين الذي تقيّد بالاستعمال الجاري للغة، كتب مستخدماً لغة أقل زخرفة قائلاً: «كان الحال كما لو أن الأرض قد سحبت من تحت قدمي الإنسان، ولم يعد يُرى أساسٌ ثابت في أي مكان، يمكن المرء أن يشيد عليه»(6). أما ولفغانغ بولي (Walfgang Pauli)، وقبل أشهر من مقالة هايزنبرغ (Heisenberg) عن ميكانيكا المصفوفات التي دلت على الطريق إلى نظرية جديدة في ميكانيكا الكَمّ، كتب إلى [84] صديق قائلاً: «إن علم الفيزياء في هذه اللحظة مشوش بصورة مرعبة. وفي أي حال، لقد كان الأمر صعباً عليّ إلى حد كبير جداً، حتى إنني تمنيت لو أنني كنت ممثلاً سينمائياً هزلياً أو ما هو من هذا القبيل ولم أسمع في حياتي عن علم الفيزياء». وهذه الشهادة مؤثرة على نحو خاص إذا ما قوبلت بكلمات بولي التي لفظها بعد أقل من خمسة أشهر، وهي: «لقد أعاد الأمل إليّ والبهجة في الحياة نوع الميكانيكا التي اهتم به هايزنبرغ. وبالتأكيد لم تقدم تلك الميكانيكا

(5) وقد ذُكر ذلك القول في: Thomas S. Kuhn, *The Copernican Revolution; Planetary Astronomy in the Development of Western Thought* (Cambridge, MA: [Harvard University Press], 1957), p. 138.

(6) انظر: Albert Einstein, «Autobiographical Note,» in: Paul Arthur Schilpp, ed., *Albert Einstein, Philosopher-Scientist*, Library of Living Philosophers; v. 7 (Evanston, Ill.: [Library of Living Philosophers], 1949), p. 45.

الحل للأحجية، لكن التقدم إلى الأمام صار ممكناً مرة ثانية»[7].

إن مثل هذه الإدراكات لظواهر الانهيار نادرة جداً، لكن نتائج الأزمة لا تتوقف بصورة كلية على إدراكها الواعي. فماذا نقدر أن نقول عن ماهية هذه النتائج؟ هناك نتيجتان فقط لهما صفة العمومية. فكل الأزمات تبدأ بظاهرة تشوّش في البراديغم يتبعه خلخلة في قواعد البحث العادي. ومن هذه الناحية، يشبه البحث العلمي خلال الأزمة، كثيراً، البحث خلال فترة ما قبل البراديغم ما خلا كون محل الاختلاف في البحث خلال الأزمة أصغر وتحديده أوضح على السواء. ثم إن كل الأزمات تنتهي في أحد طرق ثلاثة. فأحياناً قد يثبت العلم العادي في نهاية المطاف قدرته على معالجة المشكلة التي أثارت الأزمة، بالرغم من يأس أولئك الذين رأوا فيها نهاية براديغم قائم. وفي مناسبات أخرى تقاوم المشكلة حتى المقاربات الجذرية الجديدة. وعندئذٍ قد يخلص العلماء إلى الاستنتاج بعدم إمكان وجود حل في الحالة الراهنة لمجال عملهم. فيلصق بالمشكلة ما يدل على نوعها، وتزاح جانباً لينظر فيها جيل آخر في المستقبل يكون مزوداً بأدوات أكثر تطوراً. أو، أخيراً، قد تنتهي الأزمة بنشوء مرشح جديد لأحد البراديغمات وما يتبعه من معركة حول قبوله، وهذه الحالة هي التي سوف تحظى هنا باهتمامنا. وهذا النوع الأخير من النهاية سوف يؤخذ مطوّلاً بعين الاعتبار في الفصول التالية، لكن علينا أن نقوم بإجراء توقع قليل لما يمكن أن يقال هناك لكي نكمل هذه الملاحظات عن تطور وتشريح الحالة المأزومة.

---

(7) انظر: Ralph Kronig, «The turning point,» in: Markus Fierz and V. F. Weisskopf, ed., *Theoretical Physics in the Twentieth Century; a Memorial Volume to Wolfgang Pauli* (New York: [Interscience Publishers], 1960), pp. 22 and 25-26.
ويصف قسم كبير من هذه المقالة أزمة ميكانيكا الكمْ في الأعوام التي تقدمت العام 1925 مباشرة.

إن عملية الانتقال من براديغم مأزوم إلى براديغم جديد يكون منشأ لتقليد جديد لعلم عادي هي أبعد ما تكون من عملية تراكمية، [85] عملية تتحقق عن طريق صياغة براديغم قديم أو توسيعه. والأصح هو القول بأنها إعادة بناء الحقل من أسس جديدة، وهي إعادة البناء التي تغير بعضاً من أهم التعميمات النظرية الابتدائية للحقل، فضلاً عن عدد كبير من طرائق البراديغم وتطبيقاته. وسيكون هناك خلال فترة الانتقال تداخل كبير، لكنه ليس كاملاً، بين المشكلات التي يمكن حلها بواسطة البراديغم القديم والبراديغم الجديد. وسيكون هناك أيضاً فرق حاسم في أنماط الحل. وعندما يكتمل الانتقال، تكون المهنة قد غيرت نظرتها إلى الحقل، وطرائقه، وأهدافه. ومؤخراً وصف أحد المؤرخين المتبصِّرين، عبر نظرته إلى حالة كلاسيكية من حالات تجدد العلم بفضل تغيير البراديغم، تلك الحالة بأنها «كالتقاط العصا من طرفها الآخر»، وهي عملية تشمل «معالجة مجموعة المعطيات السابقة ذاتها، لكن وضعها مع بعضها في نظام علاقات جديد، بواسطة تأطير مختلف لها»(8). أما الآخرون الذين لاحظوا هذه الناحية من التقدم العلمي، فقد أكدوا تشابهه مع التغير في الصورة البصرية الجشطالتية: مثلما يحصل عندما تُرى العلامات على ورقة كأنها طائر في أول الأمر، وتشاهد الآن كأنها ظبي، أو العكس بالعكس(9). ويمكن أن يكون ذلك التوازي مضللاً. فالعلماء لا يرون شيئاً **كأنه** شيء آخر. وبدلاً من ذلك، وبكل بساطة، فهم يرونه، ليس إلا. وقد سبق لنا أن درسنا بعض المشكلات التي نجمت عن القول إن العالِم

---

(8) انظر: Herbert Butterfield, *The Origins of Modern Science, 1300-1800* (London: [G. Bell], 1949), pp. 1-7.

(9) انظر: Hanson, *Patterns of Discovery; an Inquiry into the Conceptual Foundations of Science*, chap. i.

بريستلي رأى الأوكسجين كما لو كان هواءً من دون فلوجستون. فبالإضافة إلى أن العالم لا يحتفظ بحرية كحرية الخاضع لتجارب الجشطالت النفسية لكي يمكنه التحرك جيئة وذهاباً بين طرائق في الرؤية. ومع ذلك، فإن التنقل الجشطالتي هو نمط أولي مفيد لما يحدث في الانتقال الكامل للبراديغم، وبخاصة لأن التنقل الجشطالتي مألوف في هذا الوقت.

قد تساعدنا التوقعات السابقة على الاعتراف بأن الأزمة هي مقدمة لظهور نظريات جديدة، بخاصة أننا درسنا من قبل نسخة مصغرة عن العملية ذاتها عندما بحثنا مسألة ظهور الاكتشافات. ولأن ظهور نظرية جديدة يقطع العلاقة مع أحد تقاليد الممارسة العلمية، ويقدم تقليداً جديداً يدار بقواعد مختلفة وفي عالم مختلف من الخطاب العلمي، فإن النظرية الجديدة لا تظهر إلا عندما يحصل [86] شعور بأن التقليد الأول قد ضل ضلالاً بعيداً. غير أن تلك الملاحظة ليست أكثر من مقدمة لفحص حالة الأزمة، وأن الأسئلة التي تؤدي إليها تتطلب لسوء الحظ قدرة عالم نفس أكثر من عالم تاريخ. فماذا يشبه البحثُ غيرُ العادي؟ وكيف تجعل ظاهرة عدم توقع على شاكلة القانون؟ وكيف يتابع العلماء عملهم عندما يعون أن شيئاً قد انحرف بصورة جوهرية في مستوى لم يُعدّهم تدريبهم على التعامل معه؟ تلك الأسئلة تحتاج إلى دراسة مستفيضة، وليس من الضروري أن يكون كلها تاريخياً. وإن ما سيتبع سوف يكون بالضرورة موقتاً وأقل اكتمالاً مما حصل من قبل.

غالباً ما يظهر البراديغم الجديد، وعلى الأقل جنينه، قبل أن تذهب الأزمة بعيداً في تطورها أو قبل إدراكها إدراكاً واضحاً. ويوفر عمل لافوازييه حالة ذات فائدة. فقد كان قد أودع ملاحظته في الأكاديمية الفرنسية بعد أول درس شامل لعلاقات الوزن في نظرية

الفلوجستون بأقل من عام، وقبل أن تكشف منشورات بريستلي عن الحجم الكامل لأزمة كيمياء الهوائيات المضغوطة. ثم ظهرت الشروح الأولى للنظرية الموجية للضوء من قبل العالم توماس يونغ (Thomas Young)، في مرحلة مبكرة جداً لتطور أزمة في علم البصريات، وكان من الممكن عدم ملاحظتها، ولولا مساعدة من العالم يونغ لكانت قد تفاقمت متحولة إلى فضيحة علمية دولية خلال عقد من الزمان منذ أن كتب لأول مرة. في حالات مثل هذه يستطيع المرء أن يقول إن انهياراً صغيراً في البراديغم مع التشوش الأول في قواعده الخاصة بالعلم العادي يكفيان لأن يثيرا في الإنسان طريقة جديدة في النظر إلى الحقل المعرفي. وما يحدث من تدخل ما بين الشعور الأول بوجود اضطراب وإدراك وجود بديل لا بد أن يكون بعيداً عن متناول الوعي.

وفي حالات أخرى ـ كحالات كوبرنيكوس، وإينشتاين، والنظرية النووية المعاصرة، على سبيل المثال ـ ينقضي وقت طويل بين الوعي الأول لوجود انهيار وظهور براديغم جديد. وعندما يحدث ذلك فقد يلتقط المؤرخ تلميحات قليلة على الأقل عما هو العلم غير العادي. وحالما يواجه العالِم ظاهرة عدم توقع جوهرية في إحدى النظريات ويسلّم بوجودها، يكون أول مجهود يبذله، هو في الغالب عزل الظاهرة عزلاً دقيقاً وإعطاؤها بنية معينة. ومع أنه صار الآن على وعي بأن قواعد العلم العادي لا يمكن أن تكون صائبة، فإنه يدفعها، [87] بصورة أقوى، لكي يتبين أين يمكن الاستفادة منها في منطقة الصعوبة وإلى أي مدى. وفي الوقت نفسه سوف يبحث عن طرق لتضخيم الانهيار، ولجعله أكثر إثارة، وربما لجعله أكثر إيحاءً مما كان عليه وقت ظهوره في تجارب كان يعتقد بأن حاصلها معروف سلفاً. وفي مجهوده الأخير، وأكثر مما هو الحال في أي جزء آخر من أجزاء تطور العلم في ما بعد البراديغم، سوف يبدو مشابهاً لصورة العالِم

الأكثر انتشاراً بيننا. وسوف يبدو غالباً في المقام الأول شخصاً باحثاً بطريقة عشوائية، مجرياً التجارب ليس إلا لكي يرى ما سيحدث، وباحثاً عن نتيجة لا يقدر أن يخمن طبيعتها تماماً. وفي الوقت ذاته، ولما كان من غير الممكن تصور تجربة من دون نوع ما من النظرية، فإن العالِم المأزوم سيحاول، وبلا انقطاع، أن يولد نظريات تأملية تكشف في حال نجاحها الطريق إلى براديغم جديد، وفي حال فشلها يتم التنازل عنها بسهولة نسبية.

إن شرح كبلر صراعه الطويل مع مسألة حركة كوكب المريخ، ووصف بريستلي لاستجابته أمام ظاهرة تكاثر غازات جديدة، يوفران مثلين كلاسيكيين عن نوع البحث الذي يعتمد على المصادفة، والذي ينتج عن وعي ظاهرة عدم التوقع[10]. لكن من المحتمل أن يأتي أفضل التوضيحات من البحث المعاصر في نظرية الحقل والجسيمات الأساسية. ففي حال غياب أزمة تقضي بمعرفة المدى الذي يمكن أن تمتدّ إليه قواعد العلم العادي، هل كان من الممكن تبرير المجهود الضخم الذي تطلبه الكشف عن النيوترينو؟ أو، إذا لم يحصل تحطم واضح لقواعد العلم عند نقطة لم يجرِ الكشف عنها، فهل كان بالإمكان اقتراح أو اختبار الفرضية الجذرية المتعلقة بعدم حفظ التكافؤ؟ ومثل البحوث الأخرى في علم الفيزياء خلال العقد الماضي، كانت هذه التجارب بصورة جزئية بمثابة محاولات لتعيين

---

(10) للاطلاع على وصف لعمل كبلر المتعلق بكوكب المريخ، انظر: John Louis Emil Dreyer, *A History of Astronomy from Thales to Kepler, Formerly Titled History of the planetary systems from Thales to Kepler*, Rev. with a Foreword by W. H. Stahl, 2nd ed. (New York: [Dover Publications], 1953), pp. 380-93.

والأخطاء التي تقع أحياناً لم تمنع مقالة دريير (Dreyer) الموجزة من توفير المادة التي نحتاجها هنا. للاطلاع على بريستلي، انظر كتابه ذاته: Joseph Priestley, *Experiments and Observations on Different kinds of Air*, 3 vols. (London: [J. Johnson], 1775-1784).

مكان مجموعة ما زالت منتشرة من ظواهر عدم توقع لا تزال منتشرة، وتحديد مصدرها.

غالباً ما يكون هذا النوع من البحث غير العاديّ، وليس عموماً، مصحوباً بنوع آخر. وأظن أن العلماء، وبصورة خاصة في [88] فترات وجود أزمة معروفة، يتحولون إلى التحليل الفلسفي كأداة لفك أحجيات حقل عملهم. وبصورة عامة لم يحتجّ العلماء أو يريدوا أن يكونوا فلاسفة. والواقع أن من عادة العلم العادي أن يبقي الفلسفة الخلّاقة قاب قوسين أو أدنى منه، وربما لأسباب وجيهة. وما دام العمل العادي يمكن إدارته باستعمال البراديغم كمثال له، فلا حاجة لأن تكون القواعد والافتراضات ظاهرة. وقد لاحظنا في الفصل الخامس أنه ليس من حاجة حتى لوجود المجموعة الكاملة من القواعد التي يبحث عنها التحليل الفلسفي. إلا أن ذلك لا يعني القول إن البحث عن الافتراضات، بما في ذلك البحث عن الافتراضات غير الموجودة، لا يمكن أن يكون طريقة فعالة لإضعاف قبضة تقليد ما على العقل ولاقتراح أساس لتقليد جديد. فلم يكن مصادفة أن يسبق ويرافق ظهور فيزياء نيوتن في القرن السابع عشر، والنظرية النسبية وميكانيكا الكَمّ في القرن العشرين، تحاليل فلسفية أساسية لتقليد البحث المعاصر(11). كذلك، لم تكن مصادفة أن يكون ما يدعى بالتجربة الفكرية قد أدّت، في كلتا هاتين الفترتين، دوراً

(11) وللإطلاع على النقطة المعاكسة التي رافقت ميكانيكا القرن السابع عشر، انظر: René Dugas, *La Mécanique au XVIIe siècle, des antécédents scolastiques à la pensée classique* (Neuchâtel: [Editions du Griffon], 1954), esp. chap. xi.

وللاطلاع على سلسلة الحوادث المماثلة في القرن التاسع عشر، انظر: René Dugas, *Histoire de la mécanique*, préface de Louis de Broglie, bibliothèque scientifique; 16 (Neuchâel: [Editions du Griffon], 1950), pp. 419-443.

حاسماً في تقدم البحث. وكما كنت قد بينت في مكان آخر، فإن التجريب الفكري التحليلي الموجود بصورة ضخمة في كتابات غاليليو، وإينشتاين، وبور (Bohr)، وآخرين، قد حسب بعناية بهدف فضح البراديغم القديم أمام المعرفة القائمة بطرق تعزل جذر الأزمة بوضوح لا يمكن الحصول عليه في المختبر(12).

ومع نشر هذه الإجراءات، منفردة أو مجتمعة، يمكن أن يحدث شيء آخر. فبفضل تركيز الانتباه العلمي على منطقة اضطراب ضيقة، وبإعداد العقل العلمي لإدراك ظواهر عدم التوقع التجريبية كما هي، فغالباً ما تنشر الأزمة اكتشافات جديدة. وقد سبق لنا أن لاحظنا كيف أن وعي الأزمة ميّز عمل لافوازييه المتعلق بالأوكسجين من عمل بريستلي، علماً أن الأوكسجين لم يكن الغاز الجديد الوحيد [89] الذي تمكن الكيميائيون الواعون لظاهرة عدم التوقع من اكتشافه في عمل بريستلي. ثم تراكمت، وبسرعة، اكتشافات في علم البصريات قبل قليل من ظهور النظرية الموجية للضوء وخلالها. وبعضها، مثل الاستقطاب بواسطة انعكاس الضوء كان نتيجة أحداث عرضية جعل العمل المركز في منطقة الاضطراب حدوثها محتملاً. (فمالوس (Malus) الذي كان المكتشف، كان لتَوّه قد باشر العمل بكتابة مقالة علمية لنيل جائزة الأكاديمية عن ظاهرة الانكسار المزدوج للضوء، وهو الموضوع الذي كان معروفاً على نطاق واسع بأنه حالة غير مقنعة). وهناك حالات أخرى، مثل البقعة الضوئية الظاهرة في مركز ظل قرص دائري، اعتبرت تنبؤات مستفادة من الفرضية الجديدة، التي ساعد نجاحها في تحويل الفرضية إلى براديغم لعمل لاحق. ولا

(12) انظر: Thomas S. Kuhn, «A Function for Thought Experiments,» in: Alexandre Koyré, *Mélanges Alexandre Koyré, publiés à l'occasion de son soixante-dixième anniversaire*, histoire de la pensée; 12-13, 2 vols. (Paris: Hermann, [1964]).

يزال هناك حالات أخرى، مثل ألوان الخدوش وألوان الصفائح الكثيفة، جرى اعتبارها تأثيرات كانت ترى غالباً ويعلق عليها عرضياً، ولكنها، مثل أوكسجين بريستلي، قد جرى تمثيلها بتأثيرات معروفة بطرق حجبت رؤيتها على حقيقتها[13]. ويمكن إعطاء شرح مماثل للاكتشافات العديدة التي لازمت بشكل ثابت ظهور ميكانيكا الكَمّ منذ حوالى عام 1895.

ولا بد أن يكون للبحث غير العادي، بالإضافة إلى ما تقدم، مظاهر وتأثيرات أخرى، ولكننا، في هذه المنطقة، لم نبدأ إلا نادراً باكتشاف الأسئلة التي توجد حاجة لطرحها. وربما لا حاجة لطرح هذه الأسئلة أكثر مما كان. فالملاحظات السابقة يجب أن تكون كافية لتبيان كيف تخفف الأزمة من إحكام التقاليد وتوفر في الوقت نفسه المعطيات المتزايدة والضرورية لتغيير البراديغم تغييراً جوهرياً. وأحياناً، تؤذن البنية التي أعطاها البحث غير العادي لظاهرة عدم التوقع، عن شكل البراديغم الجديد. وقد كتب إينشتاين، وقبل أن يكون لديه أي بديل للميكانيكا الكلاسيكية، أنه يستطيع أن يرى العلاقات المترابطة بين ظاهرات عدم التوقع المعروفة المتعلقة بإشعاع الجسم الأسود، والأثر الكهرضوئي، والحرارات النوعية[14]. وقلما يمكن رؤية مثل هذه البنية رؤية واعية. سلفاً، وبدلاً من ذلك، يظهر البراديغم الجديد، أو يظهر تلميحٌ كافٍ يسمح بصياغة له في ما بعد، [90]

(13) وللاطلاع على الاكتشافات الجديدة في علم البصريات، عموماً، انظر: Vasco Ronchi, *Histoire de la lumière*, traduit par Juliette Taton (Paris: [s. n.], 1956), chap. vii.

للاطلاع على التفسير السابق لواحد من هذه التأثيرات، انظر: Joseph Priestley, *The History and Present State of Discoveries Relating to Vision, Light, and Colours* (London: [Printed for J. Johnson], 1772), pp. 498-520.

(14) انظر: Einstein, «Autobiographical Note».

كله دفعة واحدة، وأحياناً في منتصف الليل، وفي عقل شخص غارق في عمق أزمة. أما ما هي طبيعة تلك المرحلة الأخيرة ـ بما في ذلك، كيف يخترع الإنسان (أو كيف يعرف أنه اخترع) طريقة جديدة لتنظيم المعطيات بعد تجمعها كلها ـ فمسألة لا بد أن تظل غير قابلة للفحص الدقيق ويمكن أن تبقى كذلك على الدوام. دعونا نلاحظ هنا شيئاً واحداً حول هذه المسألة. وهي أن الأشخاص الذين يبدعون هذه الاختراعات المتعلقة ببراديغم جديد هم، وعلى الأغلب دائماً، شبان أو حديثو العهد في العمل في الحقل الذي غيروا براديغمه[15]. وقد لا تكون هذه النقطة بحاجة إلى إظهارها، ذلك لأن من الواضح أن هؤلاء هم الأشخاص الذين، لكونهم ضعيفي الالتزام بممارسة سابقة بالقواعد التقليدية للعلم العادي، قد لا يرغبون في أن يروا تلك القواعد تحدد دوراً يمكن تأديته، فيتصورون مجموعة أخرى لتحل محلها.

والانتقال الحاصل إلى براديغم جديد هو ثورة علمية، وهو موضوع صرنا أخيراً، وبعد طول وقت، مهيّأين للولوج فيه مباشرة. لكن تجدر، بادئ ذي بدء، ملاحظة ناحية أخيرة يبدو من الصعب الإمساك بها، وهي الكيفية التي هيأت بحسبها الطريق مادة الفصول

(15) هذا التعميم عن دور الشباب في البحث العلمي الأساسي شائع حتى غدا بمثابة فكرة مبتذلة. وزيادة على ذلك، فإن لمحة على أي قائمة بالإسهامات الأساسية في النظرية العلمية ستوفر تأكيداً مدهشاً لذلك. ومع ذلك، فإن التعميم هو بأشد الحاجة لفحص منظم. وإن هارفي لهمان (Harvey C. Lehman) يوفر لنا في كتابه معطيات مفيدة جداً، إلا أن دراساته لم تحاول إبراز الإسهامات التي تشمل صياغات فكرية جديدة أساسية. ولا هي تبحث في الظروف الخاصة، هذا إن وجدت، التي يمكن أن ترافق، بصورة نسبية، الإنتاجية المتأخرة في العلوم. انظر: Harvey Christian Lehman, *Age and Achievement*, American Philosophical Society. Memoirs; v. 33 (Princeton: [Princeton University Press], 1953).

الثلاثة الأخيرة. فإلى أن بلغنا الفصل السادس حيث قدم تصور ظاهرة عدم التوقع لأول مرة، قد يبدو أن تعبير «ثورة» و«غير عادي» تعبيران متكافئان. والأهم هو أن أياً من التعبيرين قد بدا أنه لم يعنِ أكثر من معنى «علم غير عادي»، وهذه دائرية قد تكون أزعجت عدداً قليلاً من القراء في الحد الأدنى. لكن ذلك لا يحصل في الممارسة. ونحن على وشك أن نكتشف أن دائرية مماثلة هي من خصائص النظريات العلمية. وسواء تسببت الدائرية تلك بإزعاج أم لا، فإنها لم تعد بلا تحديد. إن هذا الفصل من المحاولة والفصلين السابقين قد طوّرت معايير عديدة عن الانهيار في النشاط العلمي العادي، وهي معايير لم تعتمد إطلاقاً على ما إذا كان الانهيار سيخلفه ثورة. وسواء أكان [91] العلماء في مواجهة ظاهرة عدم توقع أو في مواجهة أزمة، فإنهم يتخذون موقفاً مختلفاً من البراديغمات القائمة، كما تتغير طبيعة بحثهم طبقاً لذلك. وإن انتشار الصياغات المتنافسة، وإرادة تجريب أي شيء، والتعبير عن عدم الرضى، واللجوء إلى الفلسفة والجدل حول المبادئ الأساسية، كل ذلك ليس سوى أعراض انتقال من البحث العادي إلى البحث غير العادي. وتقوم فكرة العلم العادي على وجودها أكثر من اعتمادها على الثورات.

IX

طبيعة الثورات العلمية وضرورتها

تسمح لنا تلك الملاحظات أخيراً بأن ننظر في المشكلات التي وفرت لهذه المحاولة عنوانها. فما هي الثورات العلمية، وما هي وظيفتها في التطور العلمي؟ لقد حصل توقع لمعظم الجواب عن هذه الأسئلة في الفصول السابقة. وبصورة خاصة، دلت المناقشة السابقة على أن الثورات العلمية اعتبرت هنا بأنها تؤلف سلسلة الأحداث التطورية اللاتراكمية التي يحل فيها، كلياً أو جزئياً، براديغم جديد محل براديغم أقدم منه، ولا يكون متسقاً معه. غير أن هناك الكثير مما يجب أن يقال، وجزء منه يمكن تقديمه عن طريق طرح سؤال إضافي. ما الذي يوجب تسمية تغيير البراديغم ثورة؟ وفي وجه الفروقات الواسعة والجوهرية بين التطور السياسي والتطور العلمي، أي الموازاة تبرر الاستعارة التي تجد ثورات في كليهما؟

إن أحد نواحي الموازاة لا بد أن يكون قد صار ظاهراً في ما سبق. فالثورات السياسية تبدأ بتزايد شعور الناس، الذي يكون غالباً محصوراً في قسم من المجتمع السياسي، بأن المؤسسات القائمة توقفت عن الحل الكافي لمشكلات بيئية كانت قد أوجدتها جزئياً.

وبطريقة مماثلة تكون الثورات العلمية التي تبدأ بنشوء شعور متزايد، يكون وهو غالباً ما يكون مقتصراً على فئة ضيقة من المتحد العلمي، بأن مؤسسات قائمة توقفت عن العمل بما فيه الكفاية في الكشف عن ناحية من نواحي الطبيعة سبق لذلك البراديغم ذاته أن أدى إليها. وفي كلا التطور السياسي والعلمي كان الشعور بتعطل العمل المؤدي إلى أزمة شرطاً ضرورياً لظهور ثورة. وزيادة على ذلك، مع التسليم بأن هذا الاستعمال للتشبيه يمطّه إلى أقصى حد، فإن تلك الموازاة لا تنطبق على تغيرات البراديغم الكبرى وحدها مثل تلك المنسوبة إلى كوبرنيكوس ولافوازييه، ولكنها تنطبق أيضاً على تغيرات أقل مرتبطة بتمثل نوع جديد من الظواهر، مثل الأوكسجين أو الأشعة السينية. إن الثورات العلمية، وكما لاحظنا في نهاية الفصل الخامس، لا تبدو ثورية إلا عند أولئك الذين تأثرت براديغماتهم بها. أما بالنسبة إلى من [93] هم خارج البراديغمات، فيمكن أن تبدو وكأنها مراحل عادية في العملية التطورية، مثل ثورات البلقان في أوائل القرن العشرين. فقد يقبل الفلكيون، على سبيل المثال، الأشعة السينية كمجرد إضافة إلى المعرفة، وذلك لأن براديغماتهم لم تتأثر بوجود الإشعاع الجديد. ولكن بالنسبة إلى علماء مثل كلفن، وكروكس، ورونتغن، الذين بحثوا في نظرية الإشعاع أو في أنابيب الأشعة المهبطية (الكاثودية)، فإن ظهور الأشعة السينية قد كان بالضرورة خروجاً عن براديغم، وخلقاً لبراديغم آخر. وذلك هو السبب في أن تلك الأشعة لم تكتشف إلا عبر حدوث خطبٍ ما في البحث العادي.

هذه الناحية التاريخية من الموازاة بين التطور السياسي والتطور العلمي يجب التوقف عن الشك بوجودها. غير أن للموازاة ناحية أعمق تقوم عليها الناحية الأولى. فالثورات السياسية تهدف إلى تغيير المؤسسات السياسية بوسائل تمنعها هذه المؤسسات ذاتها. لذا فإن

نجاحها يستلزم الاستغناء الجزئي عن مجموعة من المؤسسات لمصلحة مجموعة أخرى، وفي الوقت نفسه، لا يكون المجتمع محكوماً بشكل كامل بمؤسسات على الإطلاق. وفي البداية، وحدها الأزمة هي ما يضعف دور المؤسسات السياسية، كما سبق أن رأيناها مضعفة لدور البراديغمات. ويزداد عدد الأفراد الذين يشعرون بالاغتراب عن الحياة السياسية، ويسلكون سلوكاً انحرافياً داخله بصورة متزايدة. ثم عندما تتعمق الأزمة، يلتزم الكثير من هؤلاء الأفراد أنفسهم باقتراح حسي ما لهدف إعادة بناء المجتمع في إطار جديد من المؤسسات. وفي ذلك الوقت، ينقسم المجتمع إلى معسكرين أو حزبين متنافسين، أحدهما يسعى إلى الدفاع عن منظومة المؤسسات القديمة، والآخر يسعى إلى تأسيس مؤسسات جديدة. وحالما يحصل ذلك الاستقطاب، لا يعود اللجوء إلى العمل السياسي عوناً. ولا بد في النهاية من أن تلجأ أحزاب النزاع الثوري إلى آليّات الإقناع الشعبي، الذي غالباً ما يشتمل على القوة، وذلك لأنها غير متفقة حول شبكة المؤسسات التي يجب أن يتحقق فيها ويُقيَّم التغيير السياسي، ولأنها لا تعترف بإطار فوق بنية المؤسسات للفصل في الخلاف الثوري. وبالرغم من أن للثورات دوراً حيوياً في تطور المؤسسات السياسية، فإن ذلك الدور يعتمد على كونها، وبصورة جزئية، حوادث مضافة إلى السياسة ومضافة إلى المؤسسات. [94]

إن ما تبقى من هذه المحاولة يهدف إلى البرهان على أن الدرس التاريخي لتغير البراديغم يتكشف عن خصائص مماثلة تماماً في تطور العلوم. فالخيار بين البراديغمات المتنافسة، مثله مثل الخيار بين المؤسسات السياسية المتنافسة، يثبت على أنه خيار بين أنماط غير متسقة من حياة المتحد. ولأن للخيار ذلك الطابع، فهو لا يُحَدَّد ولا يمكن أن يُحَدَّد بمجرد القيام بإجراءات تقييمية هي من شيمة

العلم العادي، لأن هذه تعتمد اعتماداً جزئياً على براديغم خاص، ولكون ذلك البراديغم هو موضع نزاع. فعندما تدخل البراديغمات، وهذا ما يجب أن تفعله، في جدل حول اختيار براديغم، فإن دورها سيكون دائرياً وبالضرورة. فكل مجموعة تستخدم براديغمها الخاص بها للمناقشة في الدفاع عن ذلك البراديغم.

والنتيجة الدائرية الحاصلة لا تجعل الحجج خاطئة أو غير فعالة. فالإنسان الذي يتخذ براديغمَ مقدمة منطقية في مناقشته الدفاعية عنه، يمكنه أن يوفر عرضاً واضحاً عما ستكون عليه الممارسة العلمية لأولئك الذين يتبنون النظرة الجديدة للطبيعة. ويمكن أن يكون ذلك العرض مقنعاً بمقدار عظيم، وغالباً ما يفرض الإقناع. ومع ذلك، ومهما كانت قوة العرض، فإن أهمية وضعية الحجة الدائرية هي في قوة إقناعها فحسب. فلا يمكن جعلها ذات قوة إقناعية ملزمة، منطقية أو احتمالية، لهؤلاء الذين يرفضون أن يدخلوا في الدائرة. وليست المقدمات والقيم المشتركة بين طرفي الجدل حول البراديغمات كافية لذلك. وكما في الثورات السياسية، لا يوجد معيار لاختيار البراديغم أعلى من معيار موافقة المتحد ذي العلاقة. ولكي نكتشف كيفية إنتاج الثورات العلمية، لا بد لنا أن لا نكتفي بفحص تأثير الطبيعة على المنطق فقط، بل نفحص أيضاً آليات المحاجَّة المقنعة والمؤثرة في المجموعات الخاصة التي تؤلف متَّحد العلماء.

ولكي نكتشف لماذا لا يمكن حل مسألة اختيار البراديغم حلاً واضحاً بواسطة المنطق والتجربة وحدهما، علينا بعد قليل أن نفحص طبيعة الفروقات التي تفصل ما بين المنافحين عن براديغم تقليدي وخلفائهم الثوريين. وهذا الفحص هو الموضوع الرئيس لهذا الفصل وللفصل الذي يليه. ولقد سبق لنا أن لاحظنا أمثلة عديدة على مثل هذه الفروقات، وما من أحد يشك بأن التاريخ يمكنه أن يمدنا بأمثلة [95]

كثيرة أخرى. وما يمكن الشك فيه أكثر من الشك بوجود تلك الفروقات ـ وهو ما يجب اعتباره أولاً ـ هو أن تلك الأمثلة توفر معلومات جوهرية عن طبيعة العلم. ومع تسليمنا بأن رفض البراديغم كان واقعة تاريخية، فهل ينير ذلك الرفض أكثر من وجود ظاهرة إنسانية مؤلفة من سهولة في التصديق ومن فوضى فكرية؟ وهل يوجد أسباب داخلية تشرح لماذا يجب أن يتطلب رفض براديغم أقدم تمثلاً لنوع جديد من الظواهر أو نظرية علمية جديدة؟

ولنلاحظ أولاً أن مثل هذه الأسباب، إن وُجدت، فإنها لا تستمد من البنية المنطقية للمعرفة العلمية. ومن الوجهة المبدئية يمكن ظهور ظاهرة جديدة من دون أن يكون لها انعكاس هدّام على أي جزء من الممارسة العلمية السابقة. ومع أن اكتشاف وجود حياة على سطح القمر سيكون هادماً للبراديغمات القائمة (التي تخبرنا أشياء عن القمر تبدو غير متسقة مع وجود حياة هناك)، فإن معرفتنا باكتشاف وجود حياة في جزء من منظومة نجوم المجرّة، التي هي أقل من معرفتنا عن القمر، لن يكون له مثل ذلك التأثير. وعلى نحو مماثل ليس من الضروري أن تتصارع نظرية جديدة مع أي من سابقاتها. فيمكن النظرية الجديدة أن تحصر معالجتها بظواهر غير معروفة من قبل، كما فعلت نظرية الكَمّ التي عالجت (لكن، بشكل مهمّ، وليس بشكل حصري) ظواهر دون ذرية لم تكن معروفة قبل القرن العشرين. أو يمكن أن تكون النظرية الجديدة نظرية ذات مستوى أعلى من مستوى النظريات المعروفة سابقاً، أي نظرية تربط مجموعة كاملة من نظريات ذات مستوى أدنى، من دون تغيير جوهري لأي منها. واليوم، فإن نظرية حفظ الطاقة توفّر مثل ذلك الربط بين الديناميكا، والكيمياء، والكهرباء، وعلم البصريات، والنظرية الحرارية، وهكذا. وهناك أيضاً علاقات متوافقة يمكن تصورها بين النظريات القديمة

والجديدة. ويمكن أياً منها ولكلها أن تقدمها العملية التاريخية لتطور العلم بمثابة أمثلة توضيحية. وإذا حصل ذلك، فإن التطور العلمي سيكون تراكمياً بصورة جوهرية. وإنَّ وجود أنواع جديدة من الظواهر يكشف ببساطة عن وجود نظام في ناحية من نواحي الطبيعة، حيث لم يحصل أن شوهد شيء من ذلك قبلاً. ففي تطور العلم، تحل معرفة جديدة محل الجهل، وليس محل معرفة أخرى من نوع غير متوافق معها.

وربما يكون العلم (أو مشروع آخر أقل فعالية) قد تطور بالطبع بتلك الطريقة التراكمية كلياً. وكثيرون هم الذين اعتقدوا أن ذلك [96] حصل، ويبدو أن معظمهم لا يزال يفترض أن التراكم هو على الأقل المثال الأعلى الذي يعرضه التطور التاريخي لو لم تشوّهه خصوصيات العقل البشري. وهناك أسباب مهمة لذلك الاعتقاد. وسوف نكتشف في الفصل العاشر كيف أن وجهة النظر التي تعتبر العلم تراكماً متداخلة مع نظرية سائدة في فلسفة المعرفة تفيد بأن المعرفة هي إنشاء يقيمه العقل مباشرة على المعطيات الحسية الخام. وسوف نفحص في الفصل الحادي عشر الدعم القوي الذي توفره آليات علم التربية والتعليم الفعالة للمخطط التاريخي البياني ذاته. وعلى كل حال، وبالرغم من المعقولية العظيمة لتلك الصورة المثالية، فإن هناك سبباً متزايداً للتساؤل عما إذا كانت تصلح أن تكون صورة **للعلم**. فبعد فترة ما قبل البراديغم، حصل أن تَطَلَّبَ تَمَثلُ كل النظريات الجديدة وكل أنواع الظواهر الجديدة، تقريباً، هدم براديغم سابق لها، كما اقتضى نشوب نزاع لاحق بين مدارس متنافسة للفكر العلمي. وثبت أن الاكتساب التراكمي لأشياء جديدة هو استثناء غير موجود تقريباً لقانون التطور العلمي. وإن من يتناول الواقعة التاريخية تناولاً جدياً عليه أن يشك في أن العلم ينحو نحو

مثال أعلى كالذي تقترحه صورتنا عن تراكميته. فلربما كان العلم نوعاً آخر من المشاريع.

إلا أنه إذا كانت الوقائع المقاومة قد استطاعت أن تنقلنا إلى ذلك البعد، فقد يكون من الممكن أن تقترح نظرة ثانية على الأرض التي سبق أن غطيناها، فكرة أن الاكتساب التراكمي للجديد ليس نادراً وجوده في الواقع وحسب، وإنما غير محتمل أن يكون في المبدأ. وإن العلم العادي الذي **هو** تراكمي، مدين بنجاحه إلى قدرة العلماء على الانتقاء المنظّم للمشكلات التي يمكن حلها بآليات فكرية وأداتية وثيقة الصلة بما سبق وجوده. (وهذا هو السبب الذي يشرح لماذا يكون الاهتمام المفرط بالمشكلات النافعة، وبغض النظر عن علاقتها بالمعرفة والأسلوب التقني القائمين، قادراً على أن يمنع التطور العلمي بسهولة). فالإنسان الذي يجهد لحل مشكلة حددتها المعرفة والأسلوب التقني القائمان ليس باحثاً عن الحظ. فهو يعرف ماذا يريد أن يحقق، وهو يصمم أدواته ويوجه أفكاره طبقاً لهدفه. ولا يظهر شيء جديد غير متوقع واكتشاف جديد إلا بمقدار خطأ توقعاته عن الطبيعة وخطأ أدواته. وغالباً ما يكون الاكتشاف الناتج [97] بحد ذاته متناسباً مع مقدار وعناد ظاهرة عدم التوقع التي أذنت بحصوله. فمن الواضح، إذاً، وجوب نشوب نزاع بين البراديغم الذي يتكشف عن ظاهرة عدم توقع والبراديغم الذي يقدم الظاهرة في ما بعد على صورة قانون. ولم تواجهنا أمثلة الاكتشافات عبر تهديم البراديغمات، التي فحصت في الفصل السادس، بمجرد وقائع تاريخية عرضية. فلا وجود لطريقة فعالة أخرى يمكن الاكتشافات أن تتولد فيها.

الحجة ذاتها تنطبق، وبوضوح أكبر، على ظاهرة ابتداع نظريات جديدة. فمن الوجهة المبدئية، يوجد ثلاثة أنماط من الظواهر فقط

يمكن تطوير نظرية جديدة عنها. يتألف النمط **الأول** من ظواهر تمَّ شرحها شرحاً وافياً في السابق بواسطة البراديغمات القائمة، ونادراً ما توفر هذه الظواهر دافعاً أو نقطة انطلاق لبناء نظرية. وعندما تفعل ذلك، كما حصل في حالة التوقعات الثلاثة الشهيرة التي نوقشت في نهاية الفصل السابع، فإن النظريات الناتجة لا تقبل إلا نادراً لأن الطبيعة لا توفر أساساً للتمييز. والنمط **الثاني** من الظواهر يتألف من تلك الظواهر التي تدل البراديغمات القائمة على طبيعتها لكن تفاصيلها لا تفهم إلا من خلال صياغة نظرية أوسع. وهذه هي الظواهر التي يوجه العلماء بحثهم إليها معظم الوقت، غير أن ذلك البحث يهدف إلى صياغة البراديغمات القائمة، وليس إلى ابتداع براديغمات جديدة. وعندما تفشل هذه المحاولات الرامية إلى الصياغة، وفي هذه الحالة فقط، يواجه العلماء فعلياً النمط **الثالث** من الظواهر، وهي ظواهر عدم التوقع المدركة التي تكمن صفتها المميزة في رفضها العنيد لأن تَتَمَثَّلها البراديغمات القائمة. وهذا النمط، وحده، يؤدي إلى نشوء نظريات جديدة. فالبراديغمات توفر لكل الظواهر، باستثناء ظواهر عدم التوقع مكاناً محدداً من نظرية في ميدان الرؤية الذي يخص العالم.

ولكن إذا طلب من النظريات الجديدة أن تقوم بحلّ ظواهر عدم التوقع الموجودة في علاقة نظرية قائمة بالطبيعة، فعلى النظرية الجديدة الناجحة أن تسمح، وفي مكان ما، بتنبؤات مختلفة عن التنبؤات المستفادة من سابقتها. وذلك الاختلاف لا يحصل إذا كانت النظريتان متوافقتين منطقياً. وفي عملية تمثل النظرية الثانية، لا بد لهذه النظرية الثانية أن تزيح النظرية الأولى. فنظرية كنظرية حفظ الطاقة، وهي النظرية التي تبدو اليوم بمثابة بنية فوقية منطقية لا علاقة لها بالطبيعة إلا عبر نظريات تأسست على نحو مستقل، لم تتطور [98] تاريخياً من دون هدم البراديغمات. فبدلاً من ذلك، نشأت تلك

النظرية من أزمة كان أحد مكوناتها الجوهرية عدم الاتساق بين الديناميكا النيوتونية وبعض النتائج الذي صيغ حديثاً لنظرية السيال الحراري. ولم تصبح نظرية حفظ الطاقة جزءاً من العلم إلا بعد رفض نظرية السيال الحراري[1]. ولم يمكن أن تبدو نظرية من طراز ذي مستوى منطقي أعلى وغير متعارضة مع سابقاتها إلا بعد أن صارت جزءاً من العلم لبعض الوقت. وإنه لمن الصعب رؤية كيف يمكن لنظريات جديدة أن تظهر من دون هذه التغييرات الهادمة للمعتقدات المتعلقة بالطبيعة. ومع أن مبدأ الشمول المنطقي يظل وجهة نظر مسموحاً بها حول العلاقة بين النظريات المتعاقبة، فإنه ليس ظاهرة تاريخية مقبولة.

وأظن أنه، منذ قرن، كان من الممكن أن يتوقف الدفاع عن ضرورية الثورات عند هذه النقطة. لكن ولسوء الحظ، لا يمكن فعل ذلك حالياً، لأن النظرة إلى الموضوع التي طورت أعلاه لا يمكن استبقاؤها في حال قبول أكثر التفاسير المعاصرة السائدة لطبيعة ووظيفة العلم. فذلك التفسير الوثيق الصلة بمذهب الوضعية المنطقية، وغير المرفوض قطعياً من قبل خلفائه، يقيد مجال كل نظرية مقبولة ومعناها بحيث لا يكون من الممكن حصول نزاع بينها وبين أي نظرية لاحقة لها تنبؤات عن بعض الظواهر الطبيعية ذاتها. وإن أشهر وأقوى دفاع عن هذا المفهوم التقييدي للنظرية العلمية، يظهر في مناقشات العلاقة بين ديناميكا إينشتاين المعاصرة ومعادلات الديناميكا الأقدم منها التي هبطت من كتاب نيوتن: **المبادئ**. فمن وجهة نظر هذه المحاولة تبدو هاتان النظريتان غير متوافقتين بصورة أساسية، وذلك بالمعنى المشروح في علاقة علم فلك كوبرنيكوس بعلم فلك بطليموس: أي إن قبول نظرية إينشتاين ممكن في حالة واحدة فقط، وهي الإدراك بأن نظرية

(1) انظر: Silvanus Phillips Thompson, *The Life of William Thomson, Baron Kelvin of Largs*, 2 vols. (London: [Macmillan], 1910), vol. 1, pp. 266-281.

نيوتن كانت غير صائبة. هذه النظرة تظل اليوم نظرة الأقلية[2]. لذا علينا أن نفحص أكثر الاعتراضات عليها شيوعاً.

[99] ويمكن تطوير جوهر هذه الاعتراضات على النحو التالي. لم يكن باستطاعة الديناميكا النسبية أن تبين خطأ ديناميكا نيوتن، لأن الديناميكا النيوتونية لا تزال تستعمل بنجاح من قبل معظم المهندسين، وفي تطبيقات منتقاة من قبل العديد من الفيزيائيين. يضاف إلى ذلك، يمكن البرهان على أن هذا الاستعمال للنظرية الأقدم كان ملائماً، من خلال النظرية ذاتها التي حلت محلها في تطبيقات أخرى. فيمكن استعمال نظرية إينشتاين لتبيان أن التنبؤات المستفادة من معادلات نيوتن هي صالحة كصلاح أدوات القياس التي نستعملها في التطبيقات كلها التي يتوفر فيها عدد قليل من الشروط المقيدة. فعلى سبيل المثال، إذا كان يتوجب على النظرية النيوتونية أن توفر حلاً تقريبياً جيداً، فمن الضروري أن تكون السرعات النسبية للأجسام المأخوذة صغيرة بالنسبة إلى سرعة الضوء. وبإخضاع النظرية النيوتونية لهذا الشرط ولشروط أخرى قليلة، فإنها تبدو نظرية مشتقة من نظرية إينشتاين، فتكون حالة خاصة لها.

ولكن يظل الاعتراض قائماً لجهة عدم إمكان حدوث نزاع بين نظرية وإحدى حالاتها الخاصة. وإذا كان العلم الإينشتايني يبدو مخطِّئاً الديناميكا النيوتونية، فإن ذلك يعود إلى أن بعض النيوتونيين لم يكونوا حذرين في دعواهم بأن النظرية النيوتونية قد أعطت نتائج دقيقة بشكل كامل، أو في زعمهم أنها صائبة عندما تكون السرعات النسبية للأجسام عالية جداً. وبما أنهم افتقروا إلى أي دليل داعم لمثل تلك المزاعم، فقد خرجوا خروجاً كبيراً على معايير العلم

(2) انظر، على سبيل المثال، ملاحظات التي وضعها (P. P. Wiener) في:
Philosophy of Science, vol. 25 (1958), p. 298.

بإعلانهم عنها. وتظل النظرية النيوتونية قائمة، ما فتئت نظرية علمية صائبة مدعمة بدليل صحيح. وحدها المزاعم المتطرفة المنسوبة إلى النظرية ـ المزاعم التي لم تكن أجزاء من العلم بحق في يوم من الأيام ـ هي التي يمكن لإينشتاين أن يظهر خطأها. وبتطهير النظرية النيوتونية من هذه المبالغات البشرية، لم تعد تتعرض لأي تحدٍّ، كما لا يمكن تحدّيها.

يكفي نوع من هذه المناقشة لجعل أي نظرية استخدمتها مجموعة مهمة من العلماء المقتدرين نظرية منيعة الجانب إزاء أي هجوم. فمثلاً، نظمت نظرية الفلوجستون المشؤومة عدداً كبيراً من الظواهر الفيزيائية والكيميائية. كما شرحت ظاهرة احتراق الأجسام ـ بالقول إنها كانت غنية بالفلوجستون ـ وشرحت لماذا تتصف المعادن بخواص مشتركة أكثر من خاماتها. فالمعادن مركبة من عناصر ترابية أولية متحدة مع الفلوجستون، وهذا الفلوجستون، المشترك وجوده في المعادن كلها، هو الذي أنتج صفات مشتركة. يضاف إلى ذلك أن [100] نظرية الفلوجستون شرحت عدداً من التفاعلات كانت تتشكل فيها أحماض عن طريق احتراق مواد مثل الكربون والكبريت. كما أنها شرحت تناقص الحجم عندما يحصل الاحتراق في حجم محبوس من الهواء ـ فالفلوجستون الذي أطلقه الاحتراق «يفسد» مرونة الهواء الذي امتصّه، تماماً مثلما «تفسد» النار مرونة نابض من الفولاذ[3]. ولو كانت هذه الظواهر هي وحدها التي نسبها أصحاب نظرية

(3) انظر: James Bryant Conant, *The Overthrow of the Phlogiston Theory; the Chemical Revolution of 1775-1789*, Harvard Case Histories in Experimental Science; Case 2 (Cambridge, MA: Harvard University Press, 1950), pp. 13-16, and James Riddick Partington, *A Short History of Chemistry*, 2nd ed. (London: [n. pb.], 1951), pp. 85-88. =

الفلوجستون إلى نظريتهم، لما أمكن تحديها. وسوف تكفي حجة مماثلة لأي نظرية حققت نجاحاً في تطبيقها على مجموعة من الظواهر.

غير أن المحافظة على النظريات بهذه الطريقة يستلزم أن يحصر مجال تطبيقها بتلك الظواهر وبدقة الملاحظة التي سبق للدليل التجريبي أن عالجها[4]. وبالاندفاع خطوة إضافية (وهي خطوة نادراً ما يمكن تجنبها بعد أن تؤخذ الخطوة الأولى)، فإن ما يحصل هو أن مثل ذلك التقييد يمنع العالم من الزعم أنه يتكلم «علمياً» عن أي ظاهرة لم تتم ملاحظتها. حتى في صورتها الحالية، فإن التقييد يمنع العالِم من الاعتماد عليها في بحثه ذاته كلما دخل ذلك البحث في منطقة أو تطلّب درجة من الدقة لا توجد لأي منهما سابقة في الممارسة الماضية للنظرية. هذه المحظورات ليست استثنائية من الوجهة المنطقية. غير أن ما يترتب على قبولها معناه نهاية البحث الذي، من خلاله، يمكن العلم أن يزداد تطوراً.

تبدو هذه النقطة، إلى الآن، بمثابة تحصيل حاصل. فمن دون الالتزام ببراديغم لا وجود لعلم عادي. وبالإضافة إلى ذلك، يجب أن يتوسع ذلك الالتزام ليشمل مناطق ودرجات من الدقة لا سابق لها بالكامل. وإذا لم يحصل هذا النوع من الالتزام، فلن يقدر البراديغم

= وإن أكمل وصف وهو الأكثر محبباً لإنجازات نظرية الفلوجستون هو الذي وضعته هيلين ميتزجر. انظر: Hélène Metzger, *Newton, Stahl, Boerhaave et la doctrine chimique*, bibliothèque de philosophie contemporaine (Paris: [F. Alcan], 1930), part ii.

(4) قارن النتائج التي تم التوصل إليها بطريقة من التحليل مختلفة تماماً عن تلك التي قام بها ريتشارد بيفان بريثويت (Richard Bevan Braithwaite)، انظر: Richard Bevan Braithwaite, *Scientific Explanation; A Study of the Function of Theory, Probability and Law in Science, Based Upon the Tarner Lectures, 1946* (Cambridge, MA: [Cambridge University Press], 1953), pp. 50-87, esp. p. 76.

على توفير أحجيات لم يسبق أن وُجدت حلول لها. إلى جانب ذلك، ليس العلم العادي وحده الذي يعتمد على التزام ببراديغم. فإذا كانت النظرية القائمة تقيد العالم بما له علاقة بالتطبيقات القائمة [101] فحسب، فسيكون الحاصل حالتئذ هو عدم ظهور مفاجآت، أو ظاهرات عدم توقع، أو أزمات. ولكن هذه مجرد علامات طريق تدل على السبيل إلى علم غير عادي. وإذا كان التقيد حرفياً، بالقيود الوضعية المطبقة على مجال التطبيق المشروع للنظرية، فإن الآلية التي تخبر المتَّحد العلمي عن نوع المشكلات التي يمكن أن تؤدي إلى تغير جوهري يجب أن تتوقف عن العمل. وعندما يحصل هذا، فإن المتَّحد، لا محالة، سيعود إلى حالة تشبه كثيراً حالتها السابقة للبراديغم، وهي حالة يمارس العلم فيها جميع أعضاء المتَّحد، غير أن ناتجهم الإجمالي لا يكاد يشبه العلم إطلاقاً. أليس مدعاة للعجب أن يكون ثمن التقدم العلمي هو الالتزام الذي يجرِّب مخاطرة الوقوع في خطأ؟

والأهم من ذلك هو وجود فجوة منطقية مكشوفة في الحجة الوضعية، وهي ستعيدنا حالاً إلى طبيعة التغيّر الثوري. فهل يمكن فعلاً اشتقاق الديناميكا النيوتونية من الديناميكا النسبية؟ وماذا سيكون شكل مثل هذا الاشتقاق؟ فلنتخيل مجموعة من القضايا، E_1، E_2، . . . ، E_n، التي تُجَسِّدُ مجتمعة قوانين النظرية النسبية. فهذه القضايا تحتوي على متغيرات وثوابت تمثل الوضع المكاني، والزمان، والكتلة في حالة السكون. . . إلخ. ومن هذه القضايا، وبمعونة جهاز من المنطق والرياضيات، يمكن استنباط مجموعة كاملة من القضايا الأخرى الإضافية، وبعضها يمكن التثبت منه بالمشاهدة. ولكي نثبت كفاية الديناميكا النيوتونية، كحالة خاصة، لا بد لنا من أن نضيف إلى مجموعة القضايا المرموز إليها بـ Ei قضايا

إضافية، مثل $(v/c)^2 << 1$، تحصر مجال الثوابت والمتغيرات. وهذه المجموعة الموسعة من القضايا تستغل بعد ذلك لإنتاج مجموعة جديدة، N_1، N_2، . . . ، N_m، مطابقة في صورتها لقوانين نيوتن في الحركة، ولقانون الجاذبية، وهكذا. فيكون من الواضح أن الديناميكا النيوتونية قد اشتقت من النظرية الإينشتاينية بعد إخضاعها لعدد قليل من الشروط المحددة.

ومع ذلك فهذا الاشتقاق زائف، حتى الآن على الأقل. فمع أن القضايا Ni هي حالة خاصة لقوانين الميكانيكا النسبية، إلا أنها ليست قوانين نيوتن. أو إنها، على الأقل، لا تكون قوانين نيوتن إلا إذا فسرت تلك القوانين بطريقة كانت مستحيلة قبل ظهور عمل إينشتاين. فالمتغيرات والثوابت التي مثلت في القضايا Ei الإينشتاينية الوضع المكاني، والزمن، والكتلة. . . إلخ. لا تزال موجودة في القضايا [102] Ni، ولا تزال تمثيل المكان الإينشتايني، والزمان، والكتلة. لكن المراجع الفيزيائية لهذه التصورات الإينشتاينية لا تتطابق أبداً مع المراجع الفيزيائية للتصورات النيوتونية التي تحمل الإسم ذاته. (فالكتلة النيوتونية باقية على حالها، في حين أن الكتلة الإينشتاينية قابلة للتحول إلى طاقة. وفقط، عندما تكون السرعة منخفضة نسبياً، يمكن قياس الكتلتين بالطريقة نفسها، وحتى في تلك الحالة يجب عدم تصورهما على أنهما متماثلتان). وما لم نغير تعاريف المتغيرات في مجموعة القضايا Ni، فإن القضايا التي تم لنا اشتقاقها ليست نيوتونية. وإذا غيرناها فعلياً، فلا يمكن أن يقال، وبحق، إننا اشتققنا قوانين نيوتن، وعلى الأقل بأي معنى من معاني «الاشتقاق» المدرك عموماً. ولقد شرحت حجتنا، حتى الآن، لماذا بدت قوانين نيوتن مفيدة. وبذلك تكون قد قدمت تبريراً مثلاً، لسائق يقود سيارته كما لو أنه يعيش في عالم نيوتوني. وهناك حجة من النوع ذاته تستعمل لتبرير تعليم علم الفلك الذي يتخذ الأرض مُركزاً لمسّاحي الأراضي.

لكن الحجة ما زالت لم تحقق الغرض منها. أي أنها لم تبين أن قوانين نيوتن هي حالة محددة من قوانين إينشتاين. ذلك لأنه بالانتقال إلى الحد الخاص لا تتغير صور القوانين فحسب. ففي الوقت نفسه، علينا أن نغير العناصر البنيوية الجوهرية التي يتألف منها الكون الذي تطبق عليه.

هذه الحاجة لتغيير معنى التصورات القائمة والمألوفة مركزية بالنسبة إلى التأثير الثوري لنظرية إينشتاين. ومع أن هذا التغيير هو أكثر دقة من التغييرات التي حدثت، من نظرية مركزية الأرض إلى نظرية مركزية الشمس، أو من الفلوجستون إلى الأوكسجين، أو من الجسيمات إلى الموجات، فإن التحول الحاصل في التصورات لا يقل شأناً في هدمه الحاسم لبراديغم قائم سابق. حتى إنه يمكننا أن نراه براديغمَ لإعادة نظر في التوجهات الثورية في العلوم. ولمجرد أن الانتقال لم يشمل إدخال أشياء أو تصورات إضافية، فإن ذلك الانتقال من الميكانيكا النيوتونية إلى الميكانيكا الإينشتاينية يوضح، وبشكل خاص، أن الثورة العلمية هي إزاحة لشبكة التصورات التي من خلالها ينظر العلماء إلى العالم.

إن هذه الملاحظات يجب أن تكون كافية لما يعتبر، في مناخ فلسفي آخر، أمراً مسلّماً به. وبالنسبة إلى العلماء على الأقل، يبدو معظم الفروقات الظاهرة بين نظرية علمية ملغاة وخلفها، وكأنه فروقات واقعية. ومع أنه يمكن أن ينظر دائماً إلى النظرية القديمة على أنها حالة خاصة من خَلَفَها الجديد، لكن لا بد من تحويلها لأجل [103] هذا الغرض. ولا يمكن إنجاز التحول إلا باعتماد فوائد النظرة السابقة، وفوائد الهداية الصريحة للنظرية الأجدّ. ثم إنه حتى لو كان ذلك الانتقال وسيلة يعتبر توظيفها مشروعاً في تفسير النظرية الأقدم، فإن نتيجة تطبيقها ستكون نظرية مقيدة بشكل لا يتعدى إعادة ذكر ما

كان معروفاً من قبل. ولأن إعادة ذكر النظرية يعد أمراً اقتصادياً، فإن له نفعه، لكنه لا يكفي لهداية البحث.

لذلك، دعونا الآن، نسلّم بأن الفروقات بين البراديغمات المتعاقبة ضرورية لا يمكن التوفيق بينها على السواء. إذاً، هل يمكننا أن نذكر محددين، وبوضوح أكبر، أنواع هذه الفروقات؟ إن أكثر هذه الأنواع وضوحاً قد جرى توضيحه تكراراً من قبل. أما البراديغمات المتعاقبة فتخبرنا أشياء مختلفة عما في الكون، وعن سلوكه. فالبراديغمات تختلف حول مسائل مثل وجود جسيمات أصغر من الذرة، ومادية الضوء، وحفظ الحرارة أو الطاقة. فهذه فروقات جوهرية بين البراديغمات المتعاقبة، ولا تقتضي توضيحاً إضافياً. لكن البراديغمات تختلف بأكثر من الخلاف على الجوهر، وذلك لأنها لا تتوجه إلى الطبيعة فحسب، بل تعود إلى التوجه إلى العلم الذي أنتجها أيضاً. إنها منبع الطرائق، وحقل المشكلات، ومعايير الحلول المقبولة من أي متحد علمي في أي وقت. والنتيجة تكون في أن استقبال براديغم جديد يقتضي غالباً إعادة تعريف العلم المطابق له. ويمكن أن تُنفى بعض المشكلات القديمة إلى منطقة علم آخر، أو يعلن عن «عدم علميتها»، بالكامل. والمشكلات الأخرى التي لم تكن موجودة في السابق أو كانت تافهة، يمكن أن تصير في البراديغم الجديد عيّنات مثلى لإنجاز علمي مهم. ومع تغير المشكلات، غالباً ما يحصل تغير في المعيار الذي يميز حلاً علمياً واقعياً من مجرد تأمل ميتافيزيقي، أو لعبة كلمات، أو لعبة رياضيات. إن التقليد العلمي العادي الذي ينشأ من ثورة علمية ليس غير متوافق، فحسب، مع الذي سبقه، بل لا يمكن غالباً مقارنته مقارنة منطقية مع سابقه.

[104] ويوفر التأثير القوي لعمل نيوتن على تقليد الممارسة العلمية العادية للقرن السابع عشر مثلاً مذهلاً عن هذه النتائج الدقيقة المترتبة

على انتقال البراديغم. فقبل ولادة نيوتن، كان «العلم الجديد» للقرن قد نجح، أخيراً، في رفض الشروح الأرسطية والمدرسية التي عُبّر عنها بمصطلحات ماهيات الأجسام المادية. فالقول بأن حجراً قد سقط لأن «طبيعته» قد دفعته في اتجاه مركز الكون، قد جُعِلَ قولاً يبدو أنه مجرد لعبة كلمات من نوع تحصيل الحاصل، وهذا أمر لم يحصل في السابق. ومنه صار من الضروري شرح مجمل طوفان الظواهر الحسية، بما في ذلك اللون، والمذاق، وحتى الوزن، بلغة الحجم، والشكل، والوضع، وحركة الجسيمات الأولية للمادة الأساسية. أما نسبة صفات أخرى إلى الذرات الأولية فكانت باللجوء إلى عالم خفي فوق طبيعي، وهي لذلك عمل خارج حدود العلم. وقد تمكن موليير (Molière) من الإمساك الدقيق بالروح الجديد، عندما هزِىء من الطبيب الذي شرح تأثير الأفيون كمنوّم بواسطة نسبة قوة منومة إليه. وخلال النصف الأخير من القرن السابع عشر فضل كثير من العلماء أن يقولوا إن الشكل المدوَّر لجسيمات الأفيون هو الذي يمكنها من تسكين الأعصاب التي تتحرك حولها[5].

وفي فترة أسبق، كانت الشروح بلغة صفات خفية فوق طبيعية جزءاً لا يتجزأ من العمل العلمي المنتج. ومع ذلك فإن الالتزام الجديد في القرن السابع عشر بالشرح الجسيمي ـ الميكانيكي أثبت أنه مثمر، وبصورة عظيمة، لعدد من العلوم مخلِّصاً إياها من مشكلات عصت حلاً مقبولاً لها بصورة عامة، ومقترحاً مشكلات أخرى لتحل محلها. ففي الديناميكا، مثلاً، كانت قوانين الحركة الثلاثة لنيوتن محاولة لإعادة تفسير المشاهدات المعروفة بلغة

---

(5) للاطلاع على مذهب الجسيمات، عموماً، انظر: Marie Boas, «The Establishment of the Mechanical Philosophy,» *Osiris*, vol. 10 (1952), pp. 412-541. للاطلاع على أثر شكل الجسيمات في الذوق، انظر: المصدر المذكور، ص 483.

الحركات وتفاعلات الجسيمات الحيادية الأولية، أكثر منها نتاجاً لتجارب جديدة. فلنأخذ مثلاً توضيحياً مادياً واحداً فقط. فبما أن الجسيمات الحيادية لا يقدر أن يؤثر بعضها في بعضها الآخر إلا عن طريق التّماس، فقد وجهت النظرة الجسيمية ـ الميكانيكية للطبيعة الانتباه العلمي إلى موضوع للدراسة، جديد كل الجدة، وهو تغير حركات الجسيمات بفضل التصادم. وقد أعلن ديكارت عن المشكلة، [105] وقدم أول حل معتبر لها. وزاد عليها العلماء هويغنز (Huyghens)، وفرين (Wren)، ووالیس (Wallis) زيادة جزئية بتجارب على ظاهرة تصادم كرات النواس، والزيادة الأكبر كانت في الأغلب بتطبيق خصائص معروفة سابقاً للحركة على المشكلة الجديدة. ثم ثبَّت نيوتن نتائجهم في قوانينه عن الحركة. و«الفعل» و«رد الفعل» المتساويان والواردان في القانون الثالث هما تغيران في كمية الحركة لدى الطرفين المتصادمين. والتغير ذاته في الحركة يمدّنا بتعريف للقوة الديناميكية المتضمنة في القانون الثاني. ففي هذه الحالة، كما في حالات عديدة أخرى حصلت في القرن السابع عشر، تمكن البراديغم الجسيمي أن ينشئ مشكلة جديدة، والجزء الأكبر من حلها[6].

ومع ذلك، وبالرغم من أن الكثير من عمل نيوتن كان موجّهاً نحو مشكلات ومعايير متجسدة، مشتقة من النظرة الجسيمية ـ الميكانيكية إلى العالم، فإن نتيجة البراديغم التي نجمت عن عمله كانت تغييراً إضافياً وهداماً، بصورة جزئية، في المشكلات والمعايير المشروعة للعلم. فالجاذبية التي فسرت بأنها تجاذب داخلي بين كل زوج من الجسيمات المادية، كانت صفة خفية فوق طبيعية، بالمعنى

---

(6) انظر: René Dugas, *La Mécanique au XVIIe siècle, des antécédents scolastiques à la pensée classique* (Neuchâtel: [Editions du Griffon], 1954), pp. 177-185, 284-298 and 345-58.

ذاته الذي كان لفكرة «الميل إلى السقوط» لدى المدرسيين. لذا، ومع بقاء معايير المذهب الجسيمي معمولاً بها، فإن البحث عن شرح ميكانيكي للجاذبية كان أحد أكثر المشكلات تحدياً لهؤلاء الذين قبلوا بالبراديغم الوارد في كتاب **المبادئ** لنيوتن. ونيوتن، نفسه، كرس انتباهاً كبيراً لهذه المشكلة، وكذلك فعل الكثيرون من خلفائه في القرن الثامن عشر. وكان الخيار الوحيد الظاهر هو رفض نظرية نيوتن لإخفاقها في شرح ظاهرة الجاذبية، وقد تم تبنّي ذلك البديل على نطاق واسع أيضاً. ومع ذلك لم يكن الفوز في نهاية المطاف لأي من هذه النظرات. وبسبب عجز العلماء عن ممارسة العلم من دون كتاب **المبادئ** أو جعل ذلك الكتاب متطابقاً مع المعايير الجسيمية للقرن السابع عشر، فقد تقبلوا تدريجياً النظرة التي تفيد بأن الجاذبية هي متأصلة في الأجسام فعلاً. وفي منتصف القرن الثامن عشر صار ذلك التفسير مقبولاً، وعلى نطاق واسع تقريباً، وكانت النتيجة عودة إلى الوراء (وليس تراجعاً) إلى المعيار المدرسي. وربطت التجاذبات والتنابذات الداخلية في الأجسام ما بين الحجم، والشكل، والوضع، والحركة، على أنها صفات للمادة، وأولية فيزيائية وغير قابلة للرد [106] إلى ما سواها[7].

ومرة ثانية، ترتَّبت نتائج على التغيير الحاصل في معايير علم الفيزياء وحقل مشكلاته. وحتى أربعينيات القرن الثامن عشر على سبيل المثال، كان بمقدور الكهربائيين أن يتكلموا عن «الفضيلة» الجذابة للسيال الكهربائي من دون إعلان ترحيبهم بذلك الهزء الذي

(7) انـــظـــر: I. Bernard Cohen, *Franklin and Newton; an Inquiry into Speculative Newtonian Experimental Science and Franklin's Work in Electricity as an Example Thereof*, Memoirs of the American Philosophical Society; v. 43 (Philadelphia: [American Philosophical Society], 1956), chaps. vi-vii.

كان قد استقبل به طبيب موليير منذ قرن. وعندما فعلوا ذلك، عرضت الظواهر الكهربائية نظاماً مختلفاً عن النظام الذي كانوا قد أظهروه عندما نظر إلى تلك الظواهر على أنها نتائج لسيال ميكانيكي غير مرئي لا يقدر أن يعمل إلا عن طريق التماس. وبصورة خاصة، عندما صار ما يُسمى بالفعل الكهربائي عن بعد موضوعاً للدراسة في حد ذاته، صار من الممكن اعتبار الظاهرة التي ندعوها الآن ظاهرة الشحن بواسطة التأثير عن قرب، على أنها إحدى نتائجه. أما في السابق، فقد كانت تنسب هذه الظاهرة، إذا ما نظر إليها، إلى الفعل المباشر «للأجواء» الكهربائية أو إلى التسربات التي لا مفر من حصولها في أي مختبر كهربائي. وبدورها، كانت هذه النظرة الجديدة المتعلقة بالتأثيرات عن قرب المفتاح في تحليل فرانكلين لجرّة ليدن وبالتالي لظهور براديغم نيوتوني جديد للكهرباء. ولم تكن الديناميكا والكهرباء الحقلين العلميين الوحيدين اللذين تأثرا بمشروعية البحث عن قوى داخل المادة. فإن القسم الكبير من أدبيات القرن الثامن عشر المكتوبة عن الأُلفة الكيميائية، والمتواليات التبديلية، هو أيضاً مشتق من هذه الناحية فوق الميكانيكية للمذهب النيوتوني. وكان قد أجرى سابقاً كيميائيون اعتقدوا بهذه التجاذبات التفاضلية بين الأنواع الكيميائية المختلفة تجارب لا تَتَخَيَّل، وبحثوا عن أنواع جديدة من التفاعلات الكيميائية. ومن دون المعطيات والتصورات الكيميائية التي تمَّ تطويرها في تلك العملية، لكان العمل الأخير الذي تلا وقام به لافوازييه، وبصورة أخص دالتون، عملاً غير ممكن تعقّله[8]. إن التغييرات في المعايير التي تحكم مشكلات وتصوّرات وشروح

---

(8) حول الكهرباء، انظر: Ibid, chaps. viii-ix.

حول الكيمياء، انظر: Metzger, *Newton, Stahl, Boerhaave et la doctrine chimique,* part i.

مسموحاً بها يمكن أن تغير علماً. وفي الفصل التالي سوف أقترح معنىً من معاني تغييرها العالم.

[107] ويمكن استرجاع أمثلة أخرى عن هذه الفروقات غير الجوهرية بين البراديغمات المتعاقبة من تاريخ أي علم، وتقريباً في أي فترة من تطوره. لنقنع الآن بمثلين آخرين فقط، وبتوضيحات أكثر إيجازاً. فقبل الثورة الكيميائية، كانت إحدى المهمات المعترف بها للكيمياء هي شرح صفات المواد الكيميائية، وشرح التغييرات التي تطرأ عليها خلال التفاعلات الكيميائية. وكان على الكيميائي أن يشرح، وبعون من «مبادئ» أولية قليلة العدد ـ كان الفلوجستون واحداً منها ـ لماذا تكون بعض المواد حمضية، وأخرى معدنية، وأخرى قابلة للاحتراق، وهكذا. وقد أُنجز بعض النجاح في هذا الاتجاه. فقد لاحظنا سابقاً أن الفلوجستون شرح لماذا تتشابه المعادن كثيراً، ويمكننا تطوير حجة مماثلة للأحماض. غير أن إصلاح لافوازييه جاء فألغى «المبادئ» الكيميائية، وانتهى إلى حرمان الكيمياء من بعض القوة الفعلية والقادرة على الشرح. وللتعويض عن هذه الخسارة، تطلّب الأمر تغييراً في المعايير. والفشل في شرح صفات المركبات لم يكن ليقضي باتهام النظرية الكيميائية لفترة طويلة من القرن التاسع عشر[9].

وأيضاً، شارك كلارك ماكسويل (Clerk Maxwell) المنافحين عن النظرية الموجية في الضوء الذين عاشوا في القرن التاسع عشر، باعتقادهم بوجوب انتشار موجات الضوء في وسط من أثير مادي. وقد كان تصميم وسط ميكانيكي لحمل مثل هذه الموجات مشكلة مألوفة عند الكثيرين من كبار معاصريه المقتدرين. غير أن نظريته وهي النظرية الكهرمغناطيسية في الضوء، لم تقدم شرحاً على الإطلاق عن

---

(9) انـظـر: Emile Meyerson, *Identity and Reality*, Translated into English by Kate Lowenberg (New York: [Macmillan], 1930), chap. x.

وسط قادر على حمل الموجات الضوئية، وجعلت بوضوح توفير هذا الشرح أصعب مما بدا سابقاً. وقد رُفضت نظرية ماكسويل في البداية، وكان الرفض واسعاً لتلك الأسباب. ولكن نظرية ماكسويل، مثل نظرية نيوتن، أثبتت أنه من الصعب الاستغناء عنها، وعندما حققت وضعية براديغم، تغير موقف المتَّحد العلمي منها. وفي العقود الأولى من القرن العشرين، بدا، وبشكل متزايد، إلحاح ماكسويل على وجود وسط أثيري مادي بمثابة كلام بلا معنى، وهو ما لم يكنه بالتأكيد، فهجرت المحاولات الرامية إلى تصميم مثل ذلك الوسط الأثيري. ولم يعد العلماء يفكرون بأن الكلام عن «إزاحة» كهربائية، [108] من دون تحديد ما الذي أزيح، هو كلام غير علمي. وكانت النتيجة ظهور مجموعة جديدة من المشكلات والمعايير، الأمر الذي كان له في النهاية علاقة كبيرة بظهور النظرية النسبية(10).

كان يمكن أن يكون لهذه الانتقالات المميَّزة في مفهوم المتَّحد العلمي، لمشكلاته ومعاييره المشروعة، أهميةٌ أقل لأطروحة هذه المحاولة، لو كان باستطاعة المرء أن يفترض أنها كانت دائماً تحدث من نوع منهجي منخفض إلى نوع منهجي أعلى. وفي تلك الحالة، سوف تبدو الانتقالات تراكمية أيضاً. فلا عجب أن بعض المؤرخين قد قال مجادلاً بأن تاريخ العلم يسجل زيادة مستمرة في نضج ونقاء مفهوم الإنسان عن طبيعة العلم(11). مع ذلك، فإن الدفاع عن التطور

(10) انظر: Edmund Taylor Whittaker, *A History of the Theories of Aether and Electricity*, 2 vols., Rev. and enl. ed. (London; New York: [T. Nelson, 1951-1953]), vol. 1: *The Classical Theories*, pp. 28-30.

(11) للاطلاع على محاولة بارعة وحديثة لملاءمة التطور العلمي ملاءمة قسرية ومشوهة، انظر: Charles Coulston Gillispie, *The Edge of Objectivity; an Essay in the History of Scientific Ideas* (Princeton, NJ: [Princeton University Press], 1960).

التراكمي لمشكلات ومعايير العلم هو أصعب من الدفاع عن تراكم النظريات. فلم تكن محاولة شرح ظاهرة الجاذبية، على الرغم من هجرانها المثمر من قبل أكثرية علماء القرن الثامن عشر، موجهة إلى مشكلة غير مشروعة بطبيعتها. ولم تكن الاعتراضات على وجود قوى باطنية اعتراضات غير علمية بطبيعتها، ولا كانت ميتافيزيقية بمعنى سيئ. فليس هناك وجود لمعايير خارجية تجيز حكماً من ذلك النوع. فالذي حدث لم يكن هبوطاً بالمعايير أو صعوداً بها، بل كان، وببساطة، تغييراً اقتضاه تبني براديغم جديد. وأكثر من ذلك، لقد تحول ذلك التغير منذ ذلك الحين إلى عكسه، وقد يعود. ففي القرن العشرين نجح إينشتاين في شرح تجاذبات الأثقال، وقد أعاد ذلك الشرح العلم إلى مجموعة من القواعد والمشكلات، التي كانت، ومن هذا الوجه بالذات، أكثر شبهاً بشروح أسلاف نيوتن من شبهها بشروح خلفائه. ثم، لقد عكس تطور ميكانيكا الكَمّ الحظر المنهجي الذي نشأ في الثورة الكيميائية. والآن، يحاول الكيميائيون، وبنجاح عظيم، أن يشرحوا اللون، وحالة التكتل، وصفات أخرى للمواد المستعملة والمنتجة في مختبراتهم. وهناك ظاهرة عكسية، يمكن أن تكون جارية، في النظرة الكهرمغناطيسية. وليس المكان في الفيزياء [109] المعاصرة هو الأساس العاطل والمتجانس الموظف في نظريتي نيوتن وماكسويل. وبعض صفاته الجديدة لا تختلف عن تلك التي نسبت مرة إلى الأثير وقد تيسر لنا أن نعرف، في يوم من الأيام، ما هي الإزاحة الكهربائية.

وبنقل التأكيد من الوظائف المعرفية للبراديغمات إلى التأكيد على وظائفها المعيارية، توسع الأمثلة السابقة فهمنا لطرائق تشكيل البراديغمات للحياة العلمية. وسابقاً، كنا فحصنا فحصاً رئيسياً دور البراديغم كوسيلة للنظرية العلمية. وفي دوره ذاك، كانت وظيفة

البراديغم أن يخبر العالم عن الكائنات التي تحتوي أو لا تحتوي عليها الطبيعة، وعن طرائق سلوك هذه الكائنات. وتوفر تلك المعلومات خريطة يوضح البحث العلمي الناضج تفاصيلها. وبما أن الطبيعة على درجة كبيرة من التعقيد والتنوع بحيث يستحيل معها اكتشافها بطريقة المصادفة، فإن تلك الخريطة تعتبر مثل المشاهدة والتجربة، جوهرية للتطور المستمر للعلم. وتثبت البراديغمات أنها تؤلف النشاط البحثي من خلال النظريات التي تجسدها. غير أنها هي أيضاً، تؤلف العلم من نواح أخرى، وهذه هي المسألة الآن. وتبين أقرب الأمثلة إلى زماننا، بشكل خاص، أن البراديغمات لا توفر للعلماء خريطة فحسب، بل إنها توفر لهم أيضاً بعض التوجيهات الجوهرية لصنع الخرائط. والعالِم، أثناء تعلمّه أحد البراديغمات، يكتسب نظرية، وطرائق، ومعايير، في صورة مزيج مترابط العناصر. لذلك، عندما تتغير البراديغمات، تحصل انتقالات مهمة في المعايير التي تحدد مشروعية المشكلات والحلول المقترحة.

تعيدنا هذه الملاحظة إلى النقطة التي ابتدأ منها هذا الفصل، وذلك، لأنها توفر أول إشارة صريحة منا إلى السبب الذي بموجبه يطرح الاختيار بين البراديغمات المتنافسة طرحاً منتظماً أسئلة لا يمكن حلها بواسطة معايير العلم العادي. وعندما تختلف مدرستان علميتان إلى حدٍّ مهم وغير كامل حول ماهية مشكلة وحول حلها، فإنهما، ستتحادثان مع بعضهما البعض لا محالة، عند دخولهما في جدل حول الميزات النسبية لبراديغميهما. وسيظهر كل براديغم محققاً [110] المعايير التي يفرضها على نفسه، ومقصراً في تلبية عدد قليل من تلك التي يفرضها البراديغم المنازع له، ويكون كل ذلك في الحجج الدائرية التي تنتج بانتظام. وهناك أسباب أخرى أيضاً لظاهرة النقص في التماسّ المنطقي التي تميز، وبصورة لا تناقض فيها، المجادلات

البراديغمية. فعلى سبيل المثال، بما أنه لا يوجد براديغم قادر على حل كل المشكلات التي يحددها، وبما أنه لا يوجد براديغمان يتركان المشكلات نفسها من غير حل، فإن المجادلات البراديغمية دائماً ما تشمل السؤال: ما هي المشكلات التي يعدّ حلّها الأكثر أهمية؟ ومثل موضوع المعايير المتنافسة، لا تمكن الإجابة عن ذلك السؤال المتعلق بالقيم إلا بلغة معايير تقع خارج العلم العادي، بالكلية، وإن ذلك اللجوء إلى معايير خارجية هو، وبأكثر ما يكون من الوضوح، الذي يجعل المجادلات البراديغمية مجادلات ثورية. غير أن هناك شيئاً أكثر جوهرية من المعايير والقيم، ويستحق المحاولة والرهان. فقد ناقشتُ حتى الآن مسألة واحدة، وهي أن البراديغمات هي التي تؤلف العلم. أما الآن، فإني أرغبُ في أن أعرض لمعنى تكون فيه البراديغمات مؤلفة للطبيعة أيضاً.



X

الثورات بوصفها تغييرات في النظرة إلى العالم

يمكن مؤرخ العلم، وبعد فحصه سجلّ البحث الماضي من موقع مبادئ وطرائق علم التاريخ المعاصر، أن يميل إلى الهتاف قائلاً إنه عندما تتغير البراديغمات، فإن العالم نفسه يتغير معها. فالعلماء الذين يقودهم براديغم جديد يتبنون أدوات جديدة وينظرون في أمكنة جديدة. وربما يكون الأكثر أهمية من ذلك أن العلماء يرون خلال الثورات أشياء جديدة ومختلفة عندما ينظرون، وبأدواتهم المألوفة، في أمكنة كانوا قد نظروا إليها من قبل. ويبدو الأمر كما لو أن المتَّحد المهني قد انتقل فجأة إلى كوكب آخر تُرى فيه الأشياء المألوفة في ضوء مختلف، وترى معها أشياء غير مألوفة أيضاً. طبعاً، لم يحدث شيء من ذلك النوع: فليس هناك انتقال جغرافي، ولا تزال الأمور اليومية مستمرة خارج المختبر كعادتها. ومع ذلك، فإن التغييرات في البراديغمات تجعل العلماء يرون عالَمَ بحثهم المنشغلين فيه مختلفاً. وما دام لجوء العلماء إلى ذلك العالم لا يكون إلا من خلال ما يرونه ويفعلونه، فقد نرغب في القول إنهم بعد حصول الثورة يستجيبون لعالم مختلف.

ومثل الأنماط الأولية لتحولات عالَم العالِم تثبت الأوصاف المألوفة للتحول البصري الجشطالتي بأنها موحية كثيراً. فما كان يبدو بطّاً في عالَم العالِم قبل الثورة، يبدو أرانب في ما بعد. والإنسان الذي رأى المنظر خارج الصندوق، في أول الأمر، من الأعلى، يرى داخله من الأسفل بعد ذلك. وبالرغم من أن تحولات كهذه، عادة ما تكون تدريجية، وغير قابلة للقلب (للعكس دائماً)، إلا أنها ترافق التدريب العلمي عموماً. والطالب الذي ينظر إلى محيط خريطة يرى خطوطاً على ورق، في حين يرى راسم الخرائط صورة أرض ذات تضاريس. وإذا نظر الطالب إلى صورة حجرة الفقاعات، فإنه يرى خطوطاً مختلطة ومتكسرة، بينما يرى عالم الفيزياء سجلاً لحوادث ذرّية تقريباً مألوفة. وليس إلا بعد حصول عدد من مثل هذه التحولات في الرؤية لكي يصير الطالب من سكان عالَم العالِم ويرى ما يراه العالِم ويستجيب كما يستجيب. لكن العالَم الذي يدخله الطالب ليس ثابتاً ثبوتاً نهائياً، بطبيعة المحيط من جهة، ومن العلم من جهة أخرى. بل إنه يتحدد من المحيط ومن التقليد العلمي العادي الخاص الذي دُرِّبَ الطالب على إتباعه. لذلك، عندما يتغير التقليد العلمي العادي في أزمنة الثورة، يجب أن يتجدد إدراك العالِم لمحيطه عن طريق التربية، وفي بعض المواقف المألوفة، على العالِم أن يرى جشطالت جديداً. وبعد أن يتمّ له فعل ذلك، سيبدو عالَم بحثه، هنا وهناك، عالَماً لا يمكن مقارنته مقارنة منطقية بالعالَم الذي كان يقطنه من قبل. وهذا سبب آخر يشرح لماذا تكون المدارس المسترشدة ببراديغمات مختلفة متعارضة الأهداف قليلاً. [11]

طبعاً، لا توضح التجارب الجشطالتية، بصورتها العادية، إلا طبيعة التحولات في الإدراك. فهي لا تخبرنا شيئاً عن دور البراديغمات أو عن الخبرة التي تمثلت سابقاً في عملية الإدراك الحسي. ولكن في

هذه النقطة، ثمة مقدار كبير غني من الأدب السيكولوجي، أكثره مستمد من العمل الطليعي لمعهد هانوفر (Hanover). فالشخص الخاضع للاختبار الذي يضع على عينيه نظارات ثبّتت عليهما عدسات تعكس صورة الأشياء، يرى العالَم كله، أول ما يرى، مقلوباً. ففي البداية، يقوم جهازه الإدراكي بوظيفته كما جرى تدريبه أن يفعل من دون النظارات، والنتيجة هي ظهور حالة ضياع قوي، وأزمة شخصية حادّة. ولكن، بعد أن يبدأ الشخص بتعلم كيفية التعامل مع العالَم الجديد، فإن حقل رؤيته (بكامله) ينقلب، وعادة ما يحدث ذلك بعد فترة زمنية متوسطة تكون الرؤية فيها مختلطة. بعد ذلك، تُرى الأشياء من جديد كما كانت تُرى قبل وضع النظارات. والذي حصل هو أن تَمَثّل حقل بصري غير منتظم سابق قد جرى التأثير فيه وأدى ذلك إلى تغيير في الحقل ذاته[1]. وهذا يعني حرفياً، وأيضاً مجازياً، أن الشخص الذي تعود على استعمال العدسات التي تقلب صور الأشياء قد خضع لتحوّل ثوري في الرؤية.

كذلك خَبِرَ الأشخاص الذين أخضعوا لاختبار لعبة الورق غير المتوقع، والذي نوقش في الفصل السادس، تحولاً مماثلاً. فقبل أن يتعلموا بواسطة عرض طويل أن العالم يحتوي على أوراق لعب غير [113] متوقّعة (شاذّة)، كانوا لا يرون إلا أنواع أوراق اللعب التي جهزتهم بمعرفتها خبرتهم السابقة. ومع ذلك، فحالما وفرت الخبرة لهم المقولات الضرورية الكافية، صار بمقدورهم أن يروا الأوراق كلها

---

(1) التجارب الأصلية أجراها George M. Stratton, «Vision without Inversion of the Retinal Image,» *Psychological Review*, vol. 4 (1897), pp. 341-360 and 463-481.

كما أن مراجعة أكثر حداثة يوفرها: Harvey Carr, *An Introduction to Space Perception*, Longman's Psychology Series (New York: [Longmans, Green and co.], 1935), pp. 18-57.

غير المتوقعة عند أول فحص لفترة كافية تسمح بالتعرف على هُوَيّتِها. وهناك أيضاً تجارب أخرى تثبت أن الحجم الملاحظ، وكذلك اللون، وغيرهما، لأشياء معروضة تختلف باختلاف تدريب الشخص وخبرته السابقين[2]. وبنظرة شاملة إلى أدب التجارب الغني، الذي منه استُمِدَّ هذان المثلان، تجعل المرء يظن بأن شيئاً مثل براديغم هو شرط ضروري للإدراك الحسي ذاته. فما يراه الإنسان يعتمد على الشيء الذي ينظر إليه، وعلى ما علمته خبرته التصورية ـ البصرية أن يرى أيضاً. وفي غياب مثل هذا التدريب لا يمكن أن يكون هناك، وفقاً لعبارة الفيلسوف وليم جيمس (William James)، إلا «فوضى ذات أزيزٍ متزايد».

وفي السنوات الأخيرة، وُجد عدد من المهتمين بتاريخ العلم أن أنواع التجارب الموصوفة أعلاه ذات إيحاءات كثيرة. فها هو هانسون (N. R. Hanson)، بصورة خاصة، يستخدم البراهين الجشطالتية لكي يصوغ بعضاً من نتائج المعتقد العلمي ذاتها التي تهمني هنا[3]. كما لاحظ زملاء آخرون، مراراً، أن تاريخ العلم سيكون له معنى أفضل وأكثر اتساقاً منطقياً إذا أمكن الإنسان أن يفترض أن العلماء يختبرون من وقت إلى آخر تحولات في الإدراك الحسي كالتي وصفت أعلاه. ومع ذلك، وبالرغم من أن التجارب السيكولوجية موحية، فإنها

(2) للحصول على أمثلة، انظر: Albert H. Hastorf, «The Influence of Suggestion on the Relationship between Stimulus Size and Perceived Distance,» *Journal of Psychology*, vol. 29 (1950), pp. 195-217, and Jerome S. Bruner, Leo Postman and John Rodrigues, «Expectations and the Perception of Color,» *American Journal of Psychology*, vol. 64 (1951), pp. 216-227.

(3) انظر: Norwood Russell Hanson, *Patterns of Discovery; an Inquiry into the Conceptual Foundations of Science* (Cambridge, Ma: [Cambridge University Press], 1958), chap. i.

بطبيعة الحال، تعدو أن تكون أكثر من ذلك. فهي تعرض فعلاً خصائص للإدراك الحسي **يمكن** أن تكون مركزية للتطور العلمي، غير أنها لا تثبت أن المشاهدة المتأنية والمضبوطة، التي يمارسها عالِم البحث، تشارك بتلك الخصائص. وزيادة على ذلك فإن طبيعة هذه التجارب ذاتها تجعل أي إثبات لتلك النقطة أمراً مستحيلاً. وإذا كان على المثل التاريخي أن يجعل هذه التجارب تبدو ذات علاقة، [114] فما علينا إلا أن نلاحظ أولاً أنواع الأدلة التي يمكننا أن نتوقع أن يوفرها التاريخ، وتلك التي لا نتوقع أن يوفرها.

إن الإنسان الخاضع للعرض الجشطالتي يعرف أن إدراكه الحسي قد تحول، لأنه يقدر أن يجعله ينتقل جيئة وذهاباً بصورة متكررة وهو يمسك الكتاب نفسه أو قطعة الورق ذاتها في يديه. ولأنه يعي أن لا شيء قد تغير في محيطه، فإنه يوجه انتباهه على نحو متزايد إلى الخطوط الموجودة على الورقة التي ينظر إليها، وليس إلى الشكل (البطّة أو الأرنب). وفي الأخير، يمكنه أيضاً أن يتعلم أن يرى تلك الخطوط من دون أن يرى أياً من الشكلين، ويمكنه عندئذ أن يقول (ما لم يقدر على قوله بصورة مشروعة من قبل) إنه يرى، حقيقة هذه الخطوط، ولكنه يراها كبطّة وكأرنب على التناوب. وبالمثل، يعرف الشخص الخاضع لتجربة ورق اللعب غير المتوقع (والأصح، يمكن إقناعه) أن إدراكه الحسي لا بد أن يكون قد تحول لأن سلطة خارجية، أي المجرِّب، قد أكد أنه، وبغضّ النظر عما رأى، كان ينظر إلى ورقة خمسة ديناري سوداء اللون طوال الوقت. ففي هاتين الحالتين، كما في التجارب السيكولوجية المماثلة لهما كلها، تعتمد فعالية البرهان على إمكانية تحليله بهذه الطريقة. وما لم يوجد معيار خارجي يمكن بحسبه البرهنة على وجود تحول في الرؤية، لا يمكن استخلاص نتيجة حول إمكانيات الإدراك الحسي المتناوبة.

غير أن الموقف ينعكس تماماً مع المشاهدة العلمية. فليس بمقدور العالم أن يلجأ إلى ما فوق أو وراء ما يراه بعينيه وأدواته. وإذا افترض وجود سلطة أعلى يمكن أن يفسّر اللجوء إليها تحول رؤيته، فإن تلك السلطة ذاتها ستصير مصدراً لمعطياته، وسيصير سلوك رؤيته منبعاً للمشكلات (كحال ذلك الشخص الخاضع للتجربة بالنسبة إلى العالم السيكولوجي). وسيظهر الأنواع نفسها من المشكلات إذا استطاع العالِم أن يتحوّل بالاتجاهين مثل شخص التجارب الجشطالتية. فالفترة الزمنية التي كان الضوء يعتبر أثناءها «أحياناً موجة وأحياناً جُسيماً»، كانت فترة أزمة ـ أي فترة وقع فيها خطأ ما ـ ولم تنته إلا بتطور الميكانيكا الموجيّة والإدراك بأن الضوء هو كائن قائم بذاته ومختلف عن الموجات والجسيمات على السواء. فتكون النتيجة أنه في مجال العلم، إذا رافقت تحولات الإدراك الحسي تغيرات البراديغم، فقد لا نتوقع مصادقة من قبل العلماء على [115] هذه التغيرات مباشرة. فلا يقول المتحوِّل إلى الاعتقاد بنظرية كوبرنيكوس الفلكية، وهو ينظر إلى القمر: «لقد اعتدت أن أرى كوكباً، ولكنني الآن أرى تابعاً لكوكب». فهذا الكلام قد يتضمن معنى يفيد بأن نظام بطليموس كان صحيحاً في يوم من الأيام. وبدلاً من ذلك، يقول الإنسان المتحوِّل إلى علم الفلك الجديد: «لقد حسبت القمر (أو رأيت القمر كما لو أنه)، مرة كوكباً ولكني كنت على خطأ». فهذا النوع من القول يتردد بعد حصول الثورات العلمية. وإذا كان يخفي عادة تحولاً في الرؤية العلمية أو تحولاً عقلياً آخر له الأثر نفسه، فقد لا نتوقع شهادة مصادقة مباشرة على ذلك التحول. بل يجب علينا أن نبحث عن دليل سلوكي وغير مباشر، وهو أن العالِم، ذا البراديغم الجديد، ينظر بطريقة مختلفة عن الطريقة التي نظر بها من قبل.

إذاً، لنعد إلى المعطيات ونسأل أيّ نوع من التحولات التي تحصل في عالَم العالِم يستطيع المؤرخ، الذي يعتقد بوجود مثل هذه التغيرات، أن يكتشف. ويوفر اكتشاف السير وليم هيرشل (Sir William Herschel) للكوكب أورانوس (Uranus) أول مثل يوازي موازاةً قريبة تجربة ورق اللعب غير المتوقع. وقد رأى عدد من الفلكيين، بمن فيهم عدد من أبرز الأوروبيين الاختصاصيين بالرصد الفلكي، نجمة في مواضع نفترض الآن أنه كان لا بد من أن يشغلها أورانوس في ذلك الوقت، وقد حدث ذلك في سبع عشرة مناسبة مختلفة ما بين عامي 1690 و1781. وبالفعل فقد شاهد النجمة أحد أفضل الراصدين في هذه المجموعة في ليالٍ أربع متتالية في عام 1769 من دون ملاحظة الحركة التي كان من الممكن أن توحي إليه بهوية نجمة أخرى. وهذا ما فعله هيرشل عندما شاهد الشيء نفسه، لأول مرة، بعد اثنتي عشرة سنة، بواسطة مرصد أفضل صنعه بنفسه. وكانت النتيجة أنه كان قادراً على ملاحظة شيء واضح بحجم القرص، وهو أمر غير مألوف مع النجوم. فكأن خطأً ما قد وقع، لذا فقد أجّل تحديده لهوية ذلك الشيء إلى ما بعد القيام بتدقيق أوسع. وقد كشف التدقيق عن حركة أورانوس بين النجوم، لذا أعلن هيرشل عن اكتشافه مذنّباً جديداً! وبعد عدة شهور، وبعد محاولات فاشلة لملاءمة الحركة المشاهَدة مع مدار أحد المذنّبات، اقترح ليكسل (Lexell) أن المدار قد يكون فلك كوكب[(4)]. وعندما قُبِلَ ذلك الاقتراح، صار عدد النجوم أقل مما كان، وزاد عدد الكواكب كوكباً في عالَم الفلكي المحترف. فالجرم السماوي الذي حصلت مشاهدته [116] واختفاؤه لحوالى قرن من الزمان، صار يُرى بعد عام 1781 بصورة

---

(4) انظر: Peter Doig, *Concise History of Astronomy*, with a Foreword by Sir Harold Spencer Jones (London: [Chapman and Hall], 1950), pp. 115-116.

مختلفة، لأنه، مثل ورقة اللعب غير المتوقعة، لم يعد ممكناً ملاءمته مع مقولات الإدراك الحسي (مثل نجمة أو مُذنَّب) التي وفرها البراديغم الذي كان سائداً من قبل.

غير أن التحول في الرؤية الذي مكَّن الفلكيين من أن يروا أورانوس، الكوكب، لم يَبْدُ أنه أثَّر في إدراك ذلك الشيء المشاهد في السابق فحسب. فنتائجه كانت أبعد مدى بكثير. ومن المحتمل أن يكون التغيير الطفيف في البراديغم، الذي فرضه هيرشل، قد ساعد على إعداد الفلكيين لاكتشاف سريع، بعد عام 1801، لعدد من الكواكب العديدة الصغيرة أو الكويكبات، مع أن الدليل على ذلك غامض. ولكونها صغيرة الحجم، لم تعرض هذه الكويكبات شيئاً عن ضخامة ظاهرة عدم التوقع التي غيرت هيرشل. ومع ذلك، فقد تمكن الفلكيون المستعدون لإيجاد كواكب إضافية، وبواسطة أدوات مألوفة، من أن يحددوا هوية عشرين منها في السنوات الخمسين الأولى من القرن التاسع عشر(5). ويوفر تاريخ علم الفلك أمثلة كثيرة أخرى عن التغيرات التي حصلت في الإدراك العلمي بتأثير البراديغم، وبعضها كان أقل غموضاً. فهل يمكن التصور، مثلاً، بأن يكون حادثاً عرضياً ما حصل من أن الفلكيين الغربيين قد رأوا أولاً تغيراً في السماوات التي كانت ثابتة في السابق، وذلك خلال نصف القرن الذي عقب اقتراح براديغم كوبرنيكوس الجديد؟ فالصينيون بمعتقداتهم الكونية التي لا تمنع تصور تغيير سماوي، سجلوا ظهور

---

(5) انظر: Rudolf Wolf, *Geschichte der Astronomie*, Geschichte der Wissenschaften in Deutschland. Neuere Zeit; 16 (München: [R. Oldenbourg], 1877), pp. 513-515 and 683-693.

لاحظ، بصورة خاصة، كيف يصعب وصف وولف (Wolf) مسألة شرح هذه الاكتشافات كنتيجة لقانون بود (Bode).

نجوم كثيرة جديدة في السماء في وقت أبكر بكثير. ثم، ومن دون عون من مرصد، سجل الصينيون، وبشكل منظم، ظهور بقع شمسية قبل أن يراها العالم غاليليو ومعاصروه، بقرون[6]. ولم تكن البقع الشمسية والنجمة الجديدة الأمثلة الوحيدةَ على التغير السماوي الذي ظهر في سماوات علم الفلك الغربي مباشرة بعد كوبرنيكوس. فقد اكتشف فلكيّو أواخر القرن السادس عشر وبصورة متكررة، وبأدوات تقليدية بعضها بسيط مثل قطعة خيط، أن المذنّبات تتجول بحريّة في الفضاء الذي كان محجوزاً للكواكب والنجوم الثابتة[7]. وإن السهولة [117] والسرعة اللتين تصفان رؤية الفلكيين لأشياء جديدة عندما ينظرون إلى أشياء قديمة بأدوات قديمة، تجعلنا نرغب في القول إن الفلكيين، بعد كوبرنيكوس، عاشوا في عالَم مختلف. وفي كل الأحوال، كانت استجابة بحثهم كما لو أن الحالة كانت كذلك.

وقد اختيرت الأمثلة المتقدمة من علم الفلك لأن تقارير المشاهدة السماوية غالباً ما تقدم بلغة تتألف من مصطلحات تمتُّ بصلةٍ إلى المشاهدة الخالصة نسبياً. وفي مثل هذه التقارير فقط، يمكننا أن نأمل أن نجد شيئاً مثل الموازاة الكاملة بين مشاهدات العلماء ومشاهدات الأشخاص الخاضعين لتجارب عالم السيكولوجيا. غير أننا لا نحتاج إلى الإلحاح على مثل هذه الموازاة الكاملة، وسنكسب كثيراً إذا خففنا من شدة معيارنا. وإذا كان بمقدورنا أن

(6) انظر: Joseph Needham, *Science and Civilisation in China* (Cambridge, MA: [Cambridge University Press, 1954-2004]), vol. 3: *Mathematics and the Sciences of the Heavens and the Earth*, pp. 423-429 and 434-436.

(7) انظر: Thomas S. Kuhn, *The Copernican Revolution; Planetary Astronomy in the Development of Western Thought* (Cambridge, MA: [Harvard University Press], 1957), pp. 206-209.

نقنع بالاستعمال اليومي للفعل «يرى»، فسيمكننا أن ندرك سريعاً أننا واجهنا سابقاً أمثلة أخرى كثيرة عن تحولات الإدراك العلمي التي ترافق تغير البراديغم. وبعد قليل، سوف يتطلب الاستعمال الموسع للمصطلحَيْن «إدراك حسّي» و«رؤية» دفاعاً واضحاً، لكن دعوني في البداية أوضح تطبيقهما في الممارسة.

مرة ثانية، أنظرْ للحظة إلى مثلين من أمثلتنا السابقة المستمدة من تاريخ الكهرباء. فقد رأى الكهربائيون في القرن السابع عشر بصورة متكررة، عندما كان دليلهم في بحثهم إحدى نظريات البخار غير المرئي، دقائقَ تافهة شبيهة بالقش ترتد عن الأجسام المكهربة التي جذبتها أو تبتعد عنها. وهذا على الأقل ما قال مشاهدو القرن السابع عشر إنهم رأوه، وليس لدينا سبب للشك في تقاريرهم عن الإدراك الحسّي أكثر مما لدينا بالنسبة إلى تقاريرنا. وإذا ما وقف مشاهد معاصر أمام الجهاز نفسه، فسوف يرى تنابذاً من نوع الكهرباء الساكنة (وليس ارتداداً ميكانيكياً أو بقوة الجاذبية الأرضية)، ولكن من الوجهة التاريخية، وبعد استثناء واحد تمّ تجاهله عالمياً، لم يكن يُرى التنابذ الكهربائي الساكن كذلك قبل أن يكبّر جهاز هوكسبي (Hauksbee) الضخم نتائجه تكبيراً عظيماً. وكان التنابذ بعد التكهرب عن طريق التّماسّ مجرد واحد من عدد كبير من الآثار التنابذية الجديدة التي رآها هوكسبي. وفجأة أصبح التنابذ، من خلال أبحاثه، مثل التحول الجشطالتي، الظاهرةَ الأساسيةَ للتكهرب، ثم صار التجاذب هو الظاهرة التي تحتاج إلى شرح[8]. وفي أوائل القرن [118]

---

(8) انظر: Duane Emerson Roller and Duane H. D. Roller, *The Development of the Concept of Electric Charge; Electricity from the Greeks to Coulomb*, Harvard Case Histories in Experimental Science; Case 8 (Cambridge, MA: [Harvard University Press], 1954), pp. 21-29.

الثامن عشر، كانت الظواهر الكهربائية التي شوهدت وقتذاك أكثر دقة وتنوعاً من تلك التي رآها مشاهدو القرن السابع عشر. ثم صار الكهربائي الذي ينظر إلى جرة ليدن، بعد تمثل براديغم فرانكلين، يرى شيئاً مختلفاً عما كان يراه من قبل. لقد صار الجهاز مكثِّفاً، فلا يلزمه شكل جرّة أو زجاجة. وبدلاً من ذلك، برزت أهمية الغلافين الموصلين للكهرباء ـ ولم يكن أحدهما جزءاً من الجهاز الأصلي. وكما تشهد المناقشات والتمثلات الصورية، وبصورة تدريجية، أصبحت صفيحتان معدنيتان موصولتان بعازل غير موصل للكهرباء النمطَ لهذا الصنف من الأجهزة[9]. وفي الوقت نفسه، تمت أوصاف جديدة لآثار التوصيل الكهربائي، وهناك آثار أخرى شوهدت لأول مرة.

ولا ينحصر هذا النوع من التحولات في علم الفلك والكهرباء. فقد سبق لنا أن لاحظنا بعضاً من التغيرات المماثلة في الرؤية أمكن استمداده من تاريخ علم الكيمياء. فقد قلنا إن لافوازييه رأى أوكسجينَ حيث رأى بريستلي هواءً عديم الفلوجستون، وحيث لم يرَ آخرون أي شيء على الإطلاق. وفي عملية تعلمه على رؤية الأوكسجين، كان لزاماً على لافوازييه أن يغير أيضاً وجهة نظره في مواد أخرى كثيرة مألوفة أكثر. فكان عليه، على سبيل المثال، أن يرى خاماً مركباً حيث رأى بريستلي ومعاصروه تربة أولية، وكان هناك، بالإضافة إلى ذلك، تغييرات أخرى مثل هذه. وكنتيجة لاكتشاف الأوكسجين، صار لافوازييه يرى الطبيعة في الحدّ الأدنى بصورة مختلفة. وفي عدم لجوئه لتلك الطبيعة المفترض ثبوتها،

---

(9) انظر إلى المناقشة في الفصل السابع من هذا الكتاب، وإلى الأدب الذي يؤدي إليه المرجع المذكورة في الهامش رقم 9 من الفصل نفسه.

والتي «رآها مختلفة»، فإن مبدأ الاقتصاد يحثّنا على القول إن لافوازييه، بعد اكتشاف الأوكسجين، قد عمل في عالَم مختلف.

وسوف أبحث، بعد لحظة، عن إمكانية تجنّب هذا الكلام الغريب، لكننا نطلب أولاً مثلاً إضافياً عن فائدته، والمثل مستمدٌّ من أفضل الأجزاء المعروفة من أعمال غاليليو. فمنذ الماضي السحيق رأى معظم الناس جسماً ثقيلاً أو آخر من الأجسام الثقيلة يتأرجح جيئة وذهاباً وهو مربوط بخيط أو سلسلة إلى أن تخمد حركته في النهاية. فبالنسبة إلى الأرسطيين الذين اعتقدوا أن الجسم الثقيل يتحرك [119] لطبيعته الخاصة من وضع أعلى إلى حالة من السكون الطبيعي في وضع أسفل، كان الجسم المتأرجح، وببساطة، يسقط بصعوبة. ولأنه ممسوك بالسلسلة، فالجسم لا يستقر في حالة سكون إلا عند أسفل نقطة من نقاط حركته، وذلك بعد حركة منحنية ووقت مهم. غير أن غاليليو، من جهة ثانية، رأى وهو ينظر إلى الجسم المتأرجح نواساً (بندول)، أي جسماً نجح في تكرار الحركة نفسها مرات ومرات إلى ما لا نهاية. وبعد رؤيته ذلك المقدار، شاهد غاليليو صفات أخرى للنواس أيضاً، فبنى عليها الكثير من أجزاء نظريته الديناميكية الجديدة، الأكثر أهمية وأصالة. واستمد غاليليو من صفات النواس، على سبيل المثال، مناقشاته المنطقية الصائبة والكاملة والوحيدة للبرهان على استقلالية وزن الجسم وسرعة سقوطه، والعلاقة بين الارتفاع العمودي والسرعة النهائية لحركات الأجسام على المستويات المائلة أيضاً[10]. وقد رأى كل هذه الظواهر الطبيعية رؤية مختلفة عما كانت تُرى من قبل.

---

(10) انظر: Galileo Galilei, *Dialogues Concerning Two New Sciences*, Translated from the Italian and Latin into English by Henry Crew and Alfonso de Salvio (Evanston, Ill: Northwestern University, 1946), pp. 80-81 and 162-166.

فلماذا حدث ذلك التحول في الرؤية؟ والجواب هو، بالطبع، بفضل عبقرية غاليليو الفردية. لكن، لنلاحظ أن تلك العبقرية لا تظهر نفسها هنا في صورة مشاهدة أكثر دقة أو موضوعية للجسم المتأرجح. فالإدراك الأرسطي هو، من الناحية الوصفية، دقيق مثله. وعندما سجل غاليليو أن دورة اهتزاز النواس مستقلة عن السعة الزاويّة للاهتزاز التي قد تصل إلى 90، فإن وجهة نظره المتعلقة بالنواس أدت به إلى رؤية انتظام أكثر بكثير مما يمكننا الآن اكتشافه هناك[11]. بل إن ما يبدو أنه حصلَ كان شاملاً استغلالاً من قبل عبقري للإمكانيات الإدراكية التي وفرها تحول براديغم من براديغمات القرون الوسطى. وغاليليو لم ينشأ تنشئة أرسطية أبداً. فهو، على العكس، دُرِّبَ ليحلل الحركات بلغة نظرية القوة الدافعة، وهي براديغم متأخر من براديغمات القرون الوسطى، وتفيد أن الحركة المستمرة لجسم ثقيل مردها إلى قوة داخلية مزروعة فيه بواسطة القاذف المحرك الذي أطلق حركته بدايةً. وكان جان بوريدان (Jean Boridan) ونيكول أوريزْم (Nicole Oresme)، وهما العالمان المدرسيان اللذان عاشا في القرن الرابع عشر، وارتقيا بنظرية القوة الدافعة حتى بلغت أكمل صيغها، الأولين المعروفين [120] بأنهما رأيا في الحركات الاهتزازية كل جزء رآه غاليليو فيها. فقد وصف بوريدان حركة الوتر المهتز بأنها الحركة التي زرعت فيها القوة الدافعة أولاً عند لحظة ضرب الوتر، ثم استهلكت القوة الدافعة وهي تنقل الوتر ضد مقاومة توتره، وبعد ذلك يعيد التوتر الوتر في اتجاه مكانه الأول زارعاً قوة دفع متزايدة إلى أن يتم الوصول إلى منتصف الحركة، وبعد ذلك تزيح القوة الدافعة الوتر في الاتجاه المعاكس، وضد توتر الوتر للمرة الثانية، وهكذا في عملية منتظمة يمكنها أن تستمر بلا حدود لاستمرارها. وفي وقت لاحق في القرن ذاته، وضع

(11) المصدر نفسه، ص 91-94 و244.

أوريزْم تحليلاً مماثلاً للحجر المهتزّ يبدو الآن كأنه أول مناقشة للنواس[12]. وكانت وجهة نظره قريبة جداً، وبشكل واضح، من وجهة نظر غاليليو التي قارب بها لأول مرة ظاهرة النواس. وكانت وجهة النظر ممكنة، في الحدّ الأدنى وفي حالة أوريزْم، وبالتأكيد في حالة غاليليو، بفضل الانتقال من براديغم القوة الدافعة الأرسطي الأصلي براديغم الدافع المدرسي للحركة. وقبل اختراع ذلك البراديغم المدرسي، لم يكن هناك ظاهرة نواس ليشاهدها العالِم، وكانت الظاهرة الوحيدة تتعلق بالحجارة المهتزة. وقد أوجِدتْ ظاهرةُ النواس بفضل شيء هو أشبه ما يكون بتحول من فعل براديغم جشطالتي.

وعلى كل حال، هل نحتاج إلى وصف ما يفصل غاليليو عن أرسطو، أو لافوازييه عن بريستلي، بأنه تحول في الرؤية؟ وهل رأى هؤلاء الرجال حقيقة أشياء مختلفة عندما كانوا ينظرون إلى أشياء من الأنواع ذاتها؟ وهل يوجد معنى مشروع يمكّننا من القول إنهم اتّبعوا بحثهم في عوالم مختلفة؟ هذه الأسئلة لم يعد بالإمكان تأجيلها، وذلك لوجود طريقة أخرى مألوفة أكثر لوصف الأمثلة التاريخية كلها التي ذكرت بشكل مجمل أعلاه. ومن المؤكد أن كثيراً من القراء سيريدون القول إن ما يتغير مع البراديغم ليس إلا تفسير العالِم للمشاهدات التي هي بحد ذاتها ثابتة أبداً بطبيعة المحيط وجهاز الإدراك الحسي. واستناداً إلى وجهة النظر هذه، يقال إن بريستلي ولافوازييه رأيا الأوكسجين، لكنهما فسرا مشاهداتهما تفسيرات مختلفة، كذلك رأى أرسطو وغاليليو النواس، لكنهما اختلفا في [121] تفسيرهما ما رآه كلاهما.

---

(12) انظر: Marshall Clagett, *The Science of Mechanics in the Middle Ages*, University of Wisconsin Publications in Medieval Science; 4 (Madison, Wis.: [University of Wisconsin Press], 1959), pp. 537-538 and 570.

أقول على الفور إن هذه النظرة المألوفة جداً إلى ما يحدث عندما يغير العلماء تفكيرهم بشأن الأمور الأساسية ليست بالنظرة الخاطئة كلها ولا هي مجرد خطأ، بل هي جزء جوهري من براديغم فلسفي ابتدأه ديكارت وتطور في الوقت نفسه على صورة ديناميكا نيوتن. وقد خدم ذلك البراديغم العلم والفلسفة كليهما خدمةً جُلّى. وقد أثمر استغلاله، مثل استغلال علم الديناميكا ذاته، فهماً جوهرياً قد لا يكون من الممكن تحقيقه بطريقة أخرى. لكن، وكما يدل مَثَلُ علم الديناميكا عند نيوتن أيضاً، فإن أكثر النجاحات الماضية إدهاشاً لا يوفر لنا ضمانة بأنه يمكن تأجيل أزمة إلى ما لا نهاية. وفي هذه الأيام، تتلاقى الأبحاث في أجزاء من الفلسفة، والبسيكولوجيا، وعلم اللغة، وحتى في تاريخ الفن، في فكرة مفادها أن البراديغم التقليدي هو خاطئ نوعاً ما. وقد صار إخفاق ذلك البراديغم في الملاءمة، صار واضحاً، وبصورة متزايدة بدراسة تاريخ العلم الذي نوجّه إليه هنا معظم انتباهنا بالضرورة.

حتى الآن لم تنتج هذه المواضيع التي تعزز على التقدم نحو أزمة بديلاً قابلاً للحياة عن البراديغم المعرفي التقليدي، غير أنها ابتدأت فعلاً باقتراح ما سيكون عليه بعض خصائص ذلك البراديغم. فأنا مثلاً، أعي وعياً قوياً الصعوبة التي يُحدثها قول إنه عندما نظر أرسطو وغاليليو إلى الحجارة المهتزة، رأى الأول سقوطاً مفروضاً ورأى الثاني نواساً. وقد قُدِّمت الصعوبات ذاتها بصورة أكثر جوهرية في الجمل الافتتاحية لهذا الفصل، كالقول: مع أن العالَم لا يتغير بتغيّر البراديغم، فإن العالِم يعمل في ما بعد في عالَم مختلف. ومع ذلك، فإني مقتنع أن علينا أن نتعلم أن نفهم جُملاً تكون في الحد الأدنى مشابهة لهذه الجُمل. إن ما يحدث خلال ثورة علمية لا يمكن اختزاله بصورة كاملة إلى إعادة تفسير فردية ومعطيات ثابتة. ففي

المقام الأول، ليست المعطيات ثابتة بمعنى واضح محدَّد. فالنواس ليس حجراً ساقطاً، كما أن الأوكسجين ليس هواءً عديم الفلوجستون. وبناءً على ذلك، تكون المعطيات التي يجمعها العلماء من هذه الأشياء المختلفة هي ذاتها، كما سنرى بعد قليل، بحد ذاتها مختلفة. والأهم من ذلك أن العملية التي تنتقل إمّا بالفرد أو بالمتَّحد [122] من ظاهرة السقوط المفروض إلى ظاهرة النواس، أو من الهواء عديم الفلوجستون إلى الأوكسجين، لا يشبه التفسير في شيء. وكيف يمكن أن تكون كذلك في حال غياب معطيات ثابتة لكي يفسرها العالِم؟ وبدلاً من أن يكون مفسِّراً، فإن العالِم الذي يضم براديغمَ جديداً هو كالرجل الذي يلبس عدسات تقلب الأشياء. وبمواجهته منظومة الأشياء ذاتها كالسابق، وبمعرفته أنه يفعل ذلك، فإنه بالرغم من ذلك يجدها متحولة تماماً في كثير من تفاصيلها.

ليس المقصود بأي من هذه الملاحظات التدليل على أن العلماء لا يفسِّرون المشاهدات والمعطيات تفسيراً له علاقة بصفاتها. فعلى العكس، فسَّر غاليليو المشاهدات المتصلة بالنواس، وفسّر أرسطو مشاهداته للحجارة الساقطة، وفسَّر موسشنبرويك (Musschenbroek) المشاهدات الخاصة بالزجاجة المملوءة بالشحنات الكهربائية، وفسّر فرانكلين مشاهداته للمكثِّف. غير أن كلاً من هذه التفسيرات يفترض وجود براديغم. لقد كانت جزءاً من علم عادي، أي، من مشروع يهدف، كما كنا قد رأينا، إلى تنقية، وتوسيع، وصياغة براديغم سبق أن وُجِد. وكان الفصل الثالث قد وفَّر أمثلة كثيرة أدّى فيها التفسير دوراً مركزياً. وتلك الأمثلة تفيد في تنميط الأكثرية الساحقة من البحوث. وفي كل منها، كان العالم يعرف، بفضل براديغم مقبول، ما هو المعطى، وما هي الأدوات التي يمكن استعمالها لاستعادتها، وما هي التصورات ذات الصلة

بتفسيرها. فبوجود براديغم، يكون تفسير المعطيات شأناً مركزياً بالنسبة إلى المشروع الذي يكتشفه.

ولكن ذلك المشروع التفسيري - وهذا كان عبء الفقرة قبل الأخيرة - يمكنه أن يصوغ براديغمَ فقط، ولا أن يصححه. فالبراديغمات لا يصححها العلم العادي إطلاقاً. وبدلاً من ذلك، وكما رأينا سابقاً، فإن ما يؤدي إليه العلم العادي في النهاية ليس إلا إدراك ظواهر عدم التوقع، وإلى الأزمات أيضاً. وهذه يتمُّ إنهاؤها بحادث مفاجئ نسبياً، عديم البنية، مثل التحول الجشطالتي، وليس بالتفكير والتفسير. وحينئذ غالباً ما يتكلم العلماء عن «سقوط الموازين من العيون» أو «لمعة البرق» التي «تروي» أحجية غامضة سابقة، وتمكّن من رؤية مكوناتها بطريقة جديدة تسمح، ولأول مرة بإيجاد حلٍّ لها. وفي مناسبات [123] أخرى، يأتي التنوير ذو الصلة، في حالة النوم[13]. ولا يوجد معنى عادي لمصطلح «تفسير»، يلائم اللمعات الحدسية التي عبرها يولد براديغم جديد. ومع أن مثل هذه الحدوس تعتمد على الخبرة، أي خبرة ظاهرات عدم التوقع والظاهرات المتطابقة، التي تُكتسب بالبراديغم القديم، إلا أنها ليست على ارتباط منطقي أو جزئي بأجزاء خاصة من تلك الخبرة كما هي حال التفسير. وبدلاً من ذلك، هي تجمع أجزاء كبيرة من تلك الخبرة وتحوّلها إلى حزمة مختلفة من الخبرة ستُربط في ما بعد شيئاً فشيئاً بالبراديغم الجديد وليس بالقديم.

وللحصول على معرفة إضافية عمّا يمكن أن تكون هذه

---

(13) انظر: *Subconscient intuition, et logique dans la recherche scientifique (Conference faite au Palais de Ia Découverte le 8 Décembre l945)*, Edited by Jacques Hadamard ([Alençon: n. pb., n. d.]), pp. 7-8.

وهناك عرض أكمل بكثير بالرغم من أنه محصور بالتحسينات الرياضية في: Jacques Hadamard, *The Mathematician's Mind: The Psychology of Invention in the Mathematical Field* (Princeton, NJ: [Princeton University Press], 1949).

الاختلافات في الخبرة، لِنَعُد للحظةٍ إلى أرسطو، وغاليليو، والنواس. وأسألْ، ما هي المعطيات التي مكّن تفاعل براديغميهما المختلفين وبيئتهما المشتركة من وصول كل واحد منهما إليها؟ فالباحث الأرسطي، بعد أن يرى ظاهرة السقوط البطيء، سوف يقيس (أو يناقش على الأقل، إذ نادراً ما قاس الباحث الأرسطي) وزن الحجر، والارتفاع الشاقولي الذي نُقل إليه، والوقت اللازم ليستقر في حالة سكون. تلك كانت المقولات الفكرية، مع مقولة مقاومة الوسط، التي حركها العلم الأرسطي عند بحثه في سقوط جسم من الأجسام[14]. ولم يكن بمقدور البحث العادي، المسترشد بتلك المقولات، أن ينتج القوانين التي اكتشفها العالم غاليليو. فقد انحصرت قدرته ـ وقد فعل ذلك بطريق آخر ـ على قيادة البحث إلى سلسلة من الأزمات نشأت منها وجهة نظر غاليليو في الحجر المهتزّ. وكنتيجة لتلك الأزمات ولتغيرات فكرية أخرى، رأى غاليليو الحجر المهتزّ رؤية مختلفة. وكذلك لم يعتبر عمل أرخميدس المنصبّ على الأجسام الطافية، الوسط جوهرياً، ونظرية القوة الدافعة اعتبرت الحركة متناظرة وباقية، والأفلاطونية الجديدة وجّهت انتباه غاليليو إلى الصورة الدائرية للحركة[15]. ولذلك قاس الوزن، ونصف القطر، [124] والإزاحة الزاويّة، ومدة الاهتزازة الواحدة، فقط، وكانت هذه، بالضبط هي المعطيات التي يمكن تفسيرها لإنتاج قوانين غاليليو

---

(14) انظر: Thomas S. Kuhn, «A Function for Thought Experiments,» in: Alexandre Koyré, *Mélanges Alexandre Koyré, publiés à l'occasion de son soixante-dixième anniversaire*, histoire de la pensée; 12-13, 2 vols. (Paris: Hermann, [1964]).

(15) انظر: Alexandre Koyré: *Etudes galiléennes*, actualités scientifiques et industrielles; 852-854, 3 vols. (Paris: Hermann, 1939), vol. 1: *A l'aube de la science classique*, pp. 46-51, and «Galileo and Plato,» *Journal of the History of Ideas* (Baltimore), vol. 4 (1943), pp. 400-428.

المتعلقة بالنواس. وفي الواقع، وعلى الأغلب، لم يكن التفسير في الأغلب ضرورياً. فعلى أساس براديغمات غاليليو، كانت الظواهر المنتظمة مثل حركات النواس قريبة جداً مما يمكن فحصه. فكيف لنا، بطريقة غير ما ذكرنا، أن نصف اكتشاف غاليليو بأن دورة اهتزاز كرة النواس مستقلة كلياً عن سعته الزاويّة، وهو الاكتشاف الذي كان على العلم العادي الناشئ من غاليليو أن يلغيه، وأننا اليوم عاجزون عن توثيقه. إن الظواهر المنتظمة التي لم تكن موجودة بالنسبة إلى الباحث الأرسطي (والتي، في الواقع، لا وجود لأمثلة لها تقدمها الطبيعة) كانت نتائج خبرة مباشرة لمن رأى الحجر المهتزّ، كما فعل غاليليو.

وربما يكون ذلك المثل مغرقاً في الخيال، لأن الأرسطيين لم يسجلوا مناقشات تختص بالحجارة المهتزّة. فقد كان ذلك، وعلى أساس براديغمهم، ظاهرة غير عادية ومعقدة. ولكن الأرسطيين كانوا بالتأكيد قد ناقشوا الحالة الأبسط، وهي ظاهرة سقوط الحجارة من دون كوابح غير مألوفة، وكانت الخلافات في الرؤية، ذاتها، واضحة هناك. ففي تأمله في الحجر الساقط، كان أرسطو يرى تغيراً في الحالة، وليس في العملية. ولذلك كانت قياسات الحركة عنده تتعلق بالمسافة الكلية المقطوعة، والمدة الكلية المنقضية، وهما الخاصتان القياسيتان اللتان تنتجان ما يجب أن ندعوه، الآن، متوسّط السرعة، وليس السرعة[16]. وعلى نحو مماثل رأى أرسطو، استناداً إلى أن الحجر مدفوع بطبيعته إلى بلوغ نقطة سكونه الأخيرة، أن المسافة ذات العلاقة في أي لحظة خلال الحركة هي المسافة إلى النقطة الأخيرة النهائية، وليست المسافة من نقطة بداية الحركة[17]. وتلك

---

(16) انظر: Kuhn, Ibid.

(17) انظر: Koyré, *Etudes galiléennes*, vol. 2: *La Loi de la chute des corps: Descartes et Galilée*, pp. 7-11.

الخصائص القياسية الفكرية تقع في أساس معظم «قوانين الحركة»، المشهور عنده وتعطيها معنى. وقد غير النقد المدرسي هذه الطريقة في النظر إلى الحركة، وذلك بفضل براديغم قوة الدفع بصورة جزئية وبواسطة عقيدة أيضاً عرفت بعقيدة منطقة حرية الصور بصورة جزئية. فالحجر الذي يتحرك بقوة دفع يزداد اكتسابه للزخم من تلك القوة كلما ابتعد عن نقطة البداية لذا، فإن الخاصة القياسية ذات العلاقة [125] هي حساب المسافة من تلك النقطة، وليس حسابها إلى ما بعدها. وبالإضافة إلى ذلك، تفرّع مفهوم السرعة من قبل المدرسيين إلى تصورين ما لبثا أن أصبحا يعرفان عندنا، بعد غاليليو، بمتوسط السرعة والسرعة الآنية. ولكن عندما يُشاهد الحجر الساقط من خلال البراديغم الذي يشكل هذان التصوران جزءاً منه، فإنه، مثل النواس، يعرض قوانينه الحاكمة له بمجرد الفحص. ولم يكن غاليليو أحد الأوائل الذين أوحوا بفكرة أن الحجارة تسقط بحركة ذات تسارع منتظم[18]. وزيادة على ذلك، فقد طور نظريته حول هذا الموضوع مع الكثير من نتائجها قبل أن يجري تجارب على المستوى المائل. وكانت تلك النظرية نظرية أخرى من شبكة العلاقات المنتظمة الجديدة التي كانت في متناول عبقرية في عالم محدد من الطبيعة بالاشتراك مع البراديغمات التي نشأ عليها غاليليو ومعاصروه. ونظراً إلى أنه كان يعيش في ذلك العالم، كان غاليليو لا يزال قادراً، عندما يختار، أن يشرح لماذا رأى أرسطو ما رأى. ومع ذلك، فإن المحتوى المباشر لخبرة غاليليو المتعلقة بسقوط الأحجار لم يكن كمحتوى خبرة أرسطو.

(18) انظر: Clagett, *The Science of Mechanics in the Middle Ages*, chaps. iv, vi and ix.

وطبعاً، ليس أمراً واضحاً أننا بحاجة لأن نكون معنيين بهذا الشكل بتعبير «الخبرة المباشرة» ـ أي بملامح الإدراك الحسي التي يبرزها براديغم إلى حد تقديمها لعلاقاتها المنتظمة عند فحصها، تقريباً. فتلك الملامح لا بد لها أن تتغير، وهذا أمر واضح، مع التزامات العالِم بالبراديغمات، ولكنها أبعد ما يكون عما يجول في عقلنا عادة عندما نتكلم عن المعطيات الخام أو الخبرة الفجّة التي منها يتابع البحث العلمي، كما اشتهر أن يفعل. وربما يكون الواجب التخلي عن الخبرة المباشرة باعتبارها مائعة، وبدلاً منها، يكون من واجبنا مناقشة العمليات المادية الحسية والقياسات التي يجريها العالِم في مختبره. أو ربما يكون الواجب المضيّ في التحليل إلى ما هو أبعد من المعطى المباشر. فمثلاً، يمكن القيام به بمصطلحات لغة مشاهدات حيادية، وربما تكون اللغة واحدة مصَمَّمة لتطابق الانطباعات على شبكية العين التي تتوسط ما يراه العالِم. وليس إلا بإحدى هذه الطرق يمكننا أن نسترد منطقة تكون الخبرة فيها مستقرة أبداً ـ وفيها لا يكون النواس والسقوط البطيء إدراكات حسية مختلفة، بل تأويلات مختلفة للمعطيات الواضحة التي توفرها مشاهدة [126] حجر مهتزّ.

ولكن هل الخبرة الحسية ثابتة وحيادية؟ وهل النظريات مجرد تفسيرات من صنع الإنسان لمعطيات معينة؟ تدل وجهة النظر المعرفية التي غالباً ما أرشدت الفلسفة الغربية، ولمدة ثلاثة قرون، على جواب فوري وواضح، وهو: بلى! وفي حال غياب بديل متطور، أجد التخلي عن وجهة النظر تلك مستحيلاً استحالة كلية. ومع ذلك، فإنها لم تعد تؤدي وظيفتها بصورة فعالة، وإن محاولات جعلها تقوم بذلك عن طريق إدخال لغة مشاهدات حيادية، تبدو لي محاولات ميؤوساً منها.

إن العمليات والقياسات التي يجريها العالِم في المختبر ليست «معطى» الخبرة، بل هي «التي جمعت بصعوبة». فهي ليست ما يراه العالم - ليس على الأقل، هي ليست كذلك قبل أن يتقدم بحثه تقدماً جيداً وقبل تركيزه انتباهه. إنها، بالأحرى، مؤشرات مادية حسية لمحتوى إدراكات حسية أكثر ابتدائية، ولذا تُنتقى لهدف أن يفحصها البحث العادي فحصاً دقيقاً فقط، لأنها تؤمِّل بوجود فرصة لصياغةٍ مثمرة لبراديغم مقبول. وإن العمليات والقياسات تتحدد بالبراديغم بوضوح أكثر بكثير من الخبرة المباشرة التي اشتقت منها جزئياً. والعلم لا يتعامل مع كل العمليات المختبرية الممكنة. وعوضاً عن ذلك، ينتقي العلم تلك النتائج ذات الصلة بمقاربة البراديغم مع الخبرة المباشرة التي حددها ذلك البراديغم تحديداً جزئياً. والحاصل هو أن علماء البراديغمات المختلفة ينشغلون بنتائج مختبرية مادية مختلفة. فالقياسات التي يجب القيام بها على النوّاس لا صلة لها بحالة السقوط البطيء. كذلك، ليست العمليات المتعلقة بتبيان خواص الأوكسجين هي ذاتها، وبصورة منتظمة، كتلك اللازمة لفحص مميزات الهواء عديم الفلوجستون.

أما بالنسبة إلى لغة مشاهدةٍ خالصة، فربما لم يتم ابتداعها بعد. ولكن، بعد ثلاثة قرون بعد الفيلسوف ديكارت، لا يزال أملنا بمثل هذا الحادث يعتمد على نظرية في الإدراك الحسي والعقل. وإن عمليات التجريب الحديثة تنشر ظواهر كثيرة بسرعة، وهي حالة لا تقدر تلك النظرية على التعامل معها. ومثال البطّة والأرنب يظهر أن رجلين لهما الانطباعات الشبكية ذاتها يريان أشياء مختلفة، والعدسات [127] التي تقلب صور الأشياء تبين أن رجلين، لهما انطباعات شبكية مختلفة يمكنهما أن يريا الشيء نفسه. ويزودنا علم النفس بمقدار كبير من الأدلة الأخرى على النتيجة ذاتها، وتقوى مباشرة الشكوك

المشتقة منها بتاريخ المحاولات لعرض لغة واقعية للمشاهدات. وحتى الآن لم تستطع أي محاولة جارية لتحقيق ذلك الهدف من الاقتراب بشكل وثيق من لغة مدركات حسية محضة يمكن تطبيقها بصورة عامة. وكل المحاولات التي كانت الأقرب من غيرها إلى ذلك الهدف تشترك في خاصية واحدة تدعم بقوة عدداً من الأطروحات الرئيسية لهذه المحاولة. فهي، منذ البداية، تفترض وجود براديغم مستمد من نظرية علمية جارية أو من جزء ما من الخطاب اليومي، ثم تحاول أن تجرده من كل المفردات غير المنطقية وغير الحسية. وقد ذهب هذا المجهود بعيداً في عدد قليل من مناطق الخطاب ووصل إلى نتائج مذهلة. وليس ثمة شك في أن الجهود من هذا النوع تستحق المتابعة. غير ان نتيجتها هي لغة - مثل تلك اللغات المستعملة في العلوم - تجسّد الكثير من التوقعات حول الطبيعة، وتخفق في العمل لحظة حصول انحراف عن هذه التوقعات. وهذا، بالضبط، كان رأي نيلسون غودمان (Nelson Goodman) في وصفه أهداف كتابه: **بنية الظاهرة** (*Structure of Appearance*) حين قال: «ومن حسن الحظ أن لا يتعدى الشك إلى ما هو أكثر [من الظواهر المعروف وجودها] لأن فكرة الحالات «الممكنة» التي لا وجود لها والتي كان من الممكن أن توجد فكرة غامضة»[19]. وهكذا، لا

(19) انظر: Nelson Goodman, *The Structure of Appearance* (Cambridge, MA: [Harvard University Press], 1951), pp. 4-5.

هذا المقطع يستحق أن يستشهد به بمقدار أكبر، وهو: «إذا كان سكان ولمنغتون (Wilmington)، في عام 1947، جميعم، ووحدهم، والذين يزنون ما بين 175 و180 رطلاً، شعرهم أحمر، إذاً، يمكن المقيم في ولمنغتون في العام 1947 ذي الشعر الأحمر والمقيم في العام 1947 الذي يزن ما بين 175 و180 رطلاً أن يدخل في تعريف تأسيسي... أما السؤال عما إذا أمكن وجود أحد ما ممن ينطبق عليه إحدى هذه الصفات فقط من دون الأخرى، فلا معنى له... طالما كنا قد قرنا عدم وجود شخص كهذا... ولحسن الحظ عدم وجود شيء =

تستطيع لغة منحصرة في وصف عالم معلوم سلفاً، وبصورة كاملة، أن تنتج تقارير حيادية وموضوعية عن «المعطيات». وحتى البحث الفلسفي لم يوفر، حتى الآن، تلميحاً عن صورة اللغة القادرة على ذلك.

وفي هذه الظروف، يمكننا أن نظن أن العلماء محقّون مبدئياً في [128] ممارستهم، عندما يتعاملون مع الأوكسجين والنواس (وربما مع الذرات والإلكترونات) على أنها المكونات الأساسية لخبرتهم المباشرة. وكنتيجة للخبرة المتجسدة في براديغم عن العرق، والثقافة، وأخيراً عن المهنة، فإن عالَم العالِم صار عالماً مسكوناً بالكواكب، وأنواع النواس، والمكثّفات، والخامات المركبة، وأجسام أخرى مثل هذه أيضاً. وبالمقارنة مع موضوعات الإدارك الحسي هذه، فإن قراءات المقياس المتري والانطباعات على شبكية العين، كليهما، هما إنشاءان متقنان لا يكون للخبرة صلة مباشرة بهما إلا عندما ينظم العالم أحدهما أو الآخر لأهداف بحثه الخاصة. وهذا لا يوحي أن أنواع النواس، على سبيل المثال، هي الأشياء الوحيدة التي يقدر العالِم على رؤيتها عندما ينظر إلى حجر مهتز. (وقد سبق أن لاحظنا أن أعضاء متَّحد علمي آخر يمكنهم أن يروا سقوطاً بطيئاً). ولكنه يوحي أن العالم الذي ينظر إلى حجر مهتز لا يقدر أن يملك خبرة هي، من حيث المبدأ، أكثر ابتدائية من خبرة رؤية نواس. والبديل ليس رؤية افتراضية «ثابتة»، بل رؤية من خلال براديغم آخر، براديغم يبدو فيه الحجر المهتز شيئاً آخر.

كل هذا يبدو معقولاً بصورة أكبر إذا ما تذكرنا مجدداً أنه لا

= آخر عرضة للسؤال، ذلك لأن مفهوم الحالات «الممكنة»، أي الحالات التي هي غير موجودة، لكن يمكن أن توجد، هو مفهوم أبعد ما يكون عن الوضوح».

العلماء ولا العاديين من البشر يتعلمون رؤية العالَم بطريقة تجزيئية أو بنداً بنداً. فكلا العلماء والعاديين يفصلون مساحات كاملة من طوفان الخبرة، إلا عندما تكون كل المقولات الفكرية والاستعمالية معدة سلفاً ـ مثلاً، لاكتشاف عنصر إضافي من عناصر ما بعد اليورانيوم، أو لرؤية بيت جديد ـ فالطفل الذي ينقل كلمة «ماما» من تطبيقها على جميع البشر إلى جميع الإناث ثم إلى أمه لا يتعلم فقط معناها، ومن هي أمه. لكنه، في الوقت نفسه، يتعلم بعض الفروق بين الذكور والإناث، وشيئاً آخر أيضاً عن طرائق سلوكهم وتمييزها عن سلوك أنثى واحدة نحوه. وطبقاً لذلك، تتغير ردود فعله، وتوقعاته، ومعتقداته ـ وبالفعل، يتغير الكثير من عالمه المدرك. وعلى نحو مماثل، لم يكن أتباع كوبرنيكوس الذين رفضوا تسمية الشمس باللقب التقليدي «كوكب» يتعلمون معنى «كوكب» أو ما هي الشمس فقط. بدلاً من ذلك، كانوا يغيّرون معنى «كوكب» لكي يمكن الاستمرار في عمل تمييزات مفيدة في عالم كانت أجرامه السماوية تُرى، وليس الشمس وحدها، رؤية مختلفة عما قبل. ويمكن تطبيق [129] الفكرة ذاتها على أي من الأمثلة السابقة. فإن رؤية الأوكسجين بدلاً من رؤية الهواء عديم الفلوجستون، أو رؤية المكثِّف بدلاً من جرّة ليدن، أو رؤية النواس بدلاً من السقوط البطيء، كانت جزءاً واحداً فقط من التحول الكلي في رؤية العالِم عدداً كبيراً من الظواهر الكيميائية أو الكهربائية أو الديناميكية المرتبط بعضها بالبعض. فالبراديغمات تحدد مساحات واسعة من الخبرة في الوقت نفسه.

غير أن البحث عن تعريف مختص بالعمليات أو تعريف للغةِ مشاهدةٍ خاصة لا يمكن أن يبدأ إلا بعد أن يتم تحديد الخبرة كذلك. فالعالِم أو الفيلسوف الذي يسأل عن القياسات أو الانطباعات في شبكية العين التي تجعل النواس قادراً على أن يتعرف على النواس عندما يراه. وإذا ما رأى سقوطاً بطيئاً بدلاً من ذلك، فإن طرح سؤاله

حالتئذ لا يعود ممكناً. وإذا رأى نواساً، لكن رآه مثلما يرى شوكة رنانة أو ميزاناً مهتزاً، فلا يمكن الإجابة على سؤاله. وعلى الأقل، لا يمكن الإجابة عليه بالطريقة نفسها، لأنه لا يكون هو السؤال نفسه. لذا فإن الأسئلة المتعلقة بانطباعات شبكية العين، أو بنتائج عمليات مختبرية خاصة، مع كونها أسئلة مشروعة دائماً ومثمرة أحياناً بشكل غير عادي، إلا أنها تفترض عالماً سبق تفريعه حسياً وفكرياً بطريقة معينة. وبمعنى من المعاني فإنّ مثل هذه الأسئلة تؤلف أجزاء من علم عادي، لأنها تعتمد على وجود براديغم، وتتلقى أجوبة مختلفة نتيجة لتغير البراديغم.

ولاختتام هذا الفصل، لنهملْ منذ الآن انطباعات الشبكية، ولنحصرْ انتباهنا بعمليات المختبر التي توفر للعالِم مؤشرات حسية مادية، رغم كونها غير مترابطة، تشير إلى ما سبق أن رآه. وقد سبق أن لوحظت، وبتكرار، إحدى الطرق التي يحصل فيها تغيير في مثل هذه العمليات المختبرية مع تغيير البراديغمات. فبعد حصول ثورة علمية يصبح الكثير من القياسات والعمليات القديمة غير ذي صلة ويستبدل بأخرى. فالمرء لا يطبق الفحوص ذاتها على الأوكسجين كما طبقها على الهواء عديم الفلوجستون. غير أن تغييرات من هذا النوع ليست كلية أبداً. فالعالِم، مهما أمكنه أن يرى عندئذ، فهو بعد الثورة يظل ناظراً إلى العالَم ذاته. وبالإضافة إلى ذلك، وبالرغم من أن العالم قد [130] يكون استعملها سابقاً على نحو مختلف، فإن الكثير من لغته ومعظم أدوات مختبره لا تزال على حالها كما كانت من قبل. وينتج من ذلك أن علم ما بعد الثورة يحتوي، ومن دون تغيير، على الكثير من العمليات التي أجريت بالأدوات نفسها ووصفت بالمصطلحات ذاتها كالتي كانت عند سلفها السابق للثورة. وإذا تغيرت هذه العمليات الباقية، فإن التغيير يجب أن يكون في علاقتها بالبراديغم أو في نتائجها المادية الحسية. وإني أقترح الآن، وعن طريق تقديمي مثلاً واحداً

جديداً وأخيراً، أن النوعين من التغيرات يحصلان. ففي فحصنا عمل دالتون ومعاصريه، سوف نكتشف أن عملية واحدة بذاتها يمكن أن تصبح، عندما تربط بالطبيعة من خلال براديغم مختلف، مؤشراً لناحية مختلفة من نظام الطبيعة. وسوف نرى بالإضافة إلى ذلك أن العملية القديمة تعطي أحياناً في دورها الجديد نتائج مادية حسية مختلفة.

وعلى مدى معظم القرن الثامن عشر وإلى الدخول في القرن التاسع عشر، اعتقد الكيميائيون الأوروبيون بصورة شاملة تقريباً أن الذرات الأولية التي تتألف منها كل الأنواع الكيميائية تتماسك بقوى تآلف متبادل. وهكذا، تتماسك كتلة من الفضة بقوى التآلف بين جسيمات الفضة (وظل الاعتقاد إلى ما بعد زمن لافوازييه بأن هذه الجسيمات ذاتها تتألف من جسيمات أولية أصغر منها). واعتماداً على النظرية نفسها، فُسِّر ذوبان الفضة في الحامض (أو ذوبان الملح في الماء) بأن جسيمات الحامض جذبت جسيمات الفضة (أو جسيمات الماء جذبت جسيمات الملح) بقوة أكبر من القوى المتبادلة بين جسيمات هذه المواد المذابة في المحاليل. ثم إن النحاس يذوب في محلول الفضة ويرسِّب الفضة لأن التآلف بين النحاس والحامض أعظم من التآلف بين الحامض والفضة. وهناك ظواهر أخرى كثيرة تمَّ شرحها بالطريقة نفسها. ولقد كانت نظرية التآلف الانتقائي نموذجاً كيميائياً يبعث على الإعجاب في القرن الثامن عشر، وقد استخدمت كثيراً وكان استخدامها مثمراً أحياناً في تصميم وتحليل التجارب الكيميائية(20).

[131] غير أن نظرية التآلف رسمت الخط الذي يفصل الأخلاط الفيزيائية عن المركبات الكيميائية بطريقة أصبحت غير مألوفة منذ تمثّل

---

(20) انظر: Hélène Metzger, *Newton, Stahl, Boerhaave et la doctrine chimique*, bibliothèque de philosophie contemporaine (Paris: [F. Alcan], 1930), pp. 34-68.

عمل دالتون. فكيميائيو القرن الثامن عشر تعرفوا بالتأكيد على نوعين من العمليات. وعندما كانت عملية المزج تنتج حرارة، أو ضوءاً، أو فوراناً، أو شيئاً آخر من هذا النوع، كان يُرى بأن اتحاداً كيميائياً قد حدث. ومن جهة أخرى، إذا كان بالإمكان تمييز جزيئات المزيج بالعين أو فصلها ميكانيكياً، فالحادث هو مزيج فيزيائي. ولكن هذه المعايير غير المصقولة كانت قليلة النفع بالنسبة إلى عدد كبير من الحالات المتوسطة ـ مثل محلول الملح في الماء، والخلائط المعدنية، والزجاج، والأوكسجين في الجو، وهكذا. وقد نظر معظم الكيميائيين المسترشدين ببراديغمهم إلى هذا المجال المتوسط بمجمله على أنه كيميائي، لأن العمليات التي يتألف منها كانت محكومة من قوى من النوع ذاته. فالملح في الماء أو الأوكسجين في النيتروجين كان مجرّد مثل عن التركيب الكيميائي كما كان التركيب الناتج عن اتحاد النحاس والأوكسجين. فكانت الحجج المدافعة عن النظر إلى المحاليل على أنها مركبات حججاً قوية جداً. ونظرية التآلف ذاتها أمكن إثباتها بصورة جيدة. ويضاف إلى ذلك ان تكوين المركّب هو شرح لتجانس المحلول المشاهد. فعلى سبيل المثال، إذا افترض أن الأوكسجين والنيتروجين ممزوجان فقط، وليسا متحدين في الجو، فلا بد للغاز الأثقل عندئذ، وهو الأوكسجين أن يستقر في القاع. ودالتون الذي اعتبر الجوّ الغازي مزيجاً عجز عن شرح فشل الأوكسجين عن فعل ذلك. وكانت النتيجة الأخيرة هي أن تمثّل نظريته الذرية خلقت ظاهرة عدم توقع حيث لم يوجد شيء منها من قبل[21].

---

(21) المصدر نفسه، ص 124-129 و139-148. حول دالتون، انظر: Leonard Kollender Nash, *The Atomic-Molecular Theory*, Harvard Case Histories in Experimental Science; Case 4 (Cambridge, MA: [Harvard University Press], 1950), pp. 14-21.

وقد يُغري المرء بأن يقول إن الكيميائيين الذين نظروا إلى المحاليل على أنها مركبات لم يختلفوا عن خلفهم إلا بمسألة التعريف. وقد يكون الأمر كذلك بمعنى من المعاني. ولكن ذلك المعنى خلاف المعنى الذي يجعل التعريفات مجرد ملائمات اصطلاحية. ففي القرن الثامن عشر لم تكن الخلائط تُميَّز تمييزاً كاملاً عن المركبات بواسطة عمليات فحوص، وربما لم يكن ذلك قد حدث. وحتى لو طلب الكيميائيون فحوصاً كهذه، لكانوا بحثوا عن معايير تجعل المحلول مركّباً. فقد كان التمييز بين المزيج والمركب جزءاً من براديغمهم - أي جزءاً من الطريقة التي نظروا بها إلى حقل [132] بحثهم كله - وباعتباره كذلك، فله الأسبقية على أي فحص مختبري، وإن لم تكن أسبقية على الخبرة المتراكمة لعلم الكيمياء ككل.

ولكن، بينما كان ينظر إلى علم الكيمياء بهذه الطريقة، بينت الظواهر الكيميائية وجود قوانين مختلفة عن تلك التي ظهرت مع تمثّل براديغم دالتون الجديد. وتحديداً، بينما ظلت المحاليل تعتبر مركبات، لم تستطع التجارب الكيميائية بذاتها أن تنتج قانون النسب الثابتة. وفي نهاية القرن الثامن عشر عمت المعرفة بأن **بعض** المركبات احتوى على نسب ثابتة من أوزان عناصره. وبالنسبة إلى بعض أصناف التفاعلات، لاحظ الكيميائي الألماني ريختر (Richter) ظواهر منتظمة أخرى، هي التي يشملها الآن قانون التكافؤ الكيميائي(22). غير أن أحداً من الكيميائيين لم يستفد من هذه العلاقات المنتظمة إلا باعتبارها تعليمات إجرائية، كما أن أحداً لم يفكر بتعميمها، وظل الحال كذلك إلى نهاية القرن تقريباً. وبوجود

---

(22) انظر: James Riddick Partington, *A Short History of Chemistry*, 2nd ed. (London: [n. pb.], 1951), pp. 161-163.

الأمثلة الواضحة المناقضة، مثل الزجاج أو مثل الملح في الماء، لم يكن التعميم ممكناً من دون التخلي عن نظرية التآلف ومن دون تصور جديد لحدود مجال عمل الكيميائي. وقد صارت تلك النتيجة جلية في نهاية القرن تماماً، وذلك في الجدل الذي حصل بين الكيميائييْن الفرنسييْن بروست (Proust) وبيرتوليه (Berthollet). فقد رأى الأول أن كل التفاعلات الكيميائية تحدث بنسب ثابتة، في حين نفى الثاني ذلك. وكان كل واحد منهما قد جمع أدلة تجريبية مدهشة لدعم وجهة نظره. ومع ذلك، تحادث العالمان مع بعضهما، وكان لا بد من ذلك، لكن الجدل لم يصل إلى نتيجة أبداً. فحيثما رأى بيرتوليه مركباً تتغير نسبته، رأى بروست مزيجاً فيزيائياً فقط(23). لكن لا علاقة للتجربة ولا لتغيير التعريف الاصطلاحي بتلك المسألة. لقد تعارضت أهداف الرجلين تعارضاً جوهرياً مثلما كانت الحال بين غاليليو وأرسطو.

هذا هو الموقف خلال السنين عندما أجرى دالتون أبحاثه التي أدت، في النهاية، إلى نظريته الذرية الكيميائية الشهيرة. لكن دالتون، ولغاية المراحل الأخيرة لتلك الأبحاث، لم يكن كيميائياً ولا مهتماً [133] بالكيمياء. فبدلاً من ذلك، كان عالم أرصاد جوية يبحث في ما اعتبره المشكلات الفيزيائية لامتصاص الماء للغازات، والجوّ للماء. ولسببٍ يرتبط جزئياً بتدريبه في اختصاص مختلف، وسببٍ يتعلق بعمله ذاته في ذلك الاختصاص، فقد قارب هذه المشكلات ببراديغم مختلف عن براديغم الكيميائيين الذين عاصروه. وبصورة خاصة، نظر إلى

---

(23) انظر: Andrew Norman Meldrum, «The Development of the Atomic Theory: (1) Berthollet's Doctrine of Variable Proportions,» *Memoirs and Proceedings of the Manchester Literary and Philosophical Society (Manchester Memoirs)* (London), vol. 54, no. 7 (1910), pp. 1-16.

ظاهرة امتزاج الغازات، أو ظاهرة امتصاص الماء للغاز، على أنهما ظاهرتان فيزيائيتان لا دور لقوى التآلف فيهما. لذا، شكّل التجانس المشاهَد في المحاليل مشكلة بالنسبة إليه، لكنها مشكلة ظن أنه قادر على حلها إذا تمكن من تحديد الحجوم والأوزان النسبية للجسيمات الذرية المختلفة في خلائطه التجريبية. ولكي يحدد هذه الحجوم والأوزان، تحول دالتون أخيراً إلى علم الكيمياء، مفترضاً منذ البداية أن الذرات في المجال المحصور للتفاعلات الذي اعتبره مجالاً كيميائياً، لا تتحد إلا بنسبة واحد لواحد أو بنسبة أعداد صحيحة بسيطة أخرى[24]. وقد مكّنه ذلك الافتراض الطبيعي من تحديد حجوم وأوزان الجسيمات الأولية، كما أنه جعل قانون النسب الثابتة يبدو تحصيل حاصل. فبالنسبة إلى دالتون، لا يكون التفاعل في الواقع عملية كيميائية محضة إذا لم تكن عناصره على نسبة ثابتة. وهذا القانون الذي لم يكن من الممكن وضعه قبل عمل دالتون أصبح، بعد قبول ذلك العمل، مبدأً تأسيسياً تعجز أي مجموعة من القياسات الكيميائية عن دحضه. وكنتيجة لما يمكن أن يكون مثلنا الأكمل عن الثورة العلمية، اتخذت الاستعمالات الكيميائية علاقة بالتعميم الكيميائي مختلفة كثيراً عما كانت عليه من قبل.

ولا حاجة إلى القول بأن نتائج دالتون تعرضت لهجوم واسع في بداية الإعلان عنها. فبيرتوليه، بخاصة، لم يقتنع بها أبداً. ولم يكن محتاجاً إلى الاقتناع استناداً إلى طبيعة المسألة. غير أن براديغم دالتون الجديد كان مقنعاً لمعظم الكيميائيين خلافاً لبراديغم بروست، لأنه تضمن نتائج أوسع وأكثر أهمية من كونه معياراً جديداً للتمييز بين ما [134]

---

(24) انظر: Leonard Kollender Nash, «The Origin of Dalton's Chemical Atomic Theory,» *Isis*, vol. 47 (1956), pp. 101-116.

هو مزيج وما هو مركّب. وعلى سبيل المثال، إذا كانت الذرات لا تتحد اتحاداً كيميائياً إلا بنسب أعداد صحيحة بسيطة، فإن النتيجة تكون أن إعادة فحص المعطيات الكيميائية الموجودة لا بد أن تكشف عن أمثلة عن نسب مضاعفة وثابتة أيضاً. وقد توقف الكيميائيون عن الكتابة عن أكسيدَي الكربون اللذَيْن احتوى أحدهما على 56 في المئة والثاني على 72 في المئة من الأوكسجين محسوبين بالوزن، وبدلاً من ذلك، صاروا يكتبون أن وزناً واحداً من الكربون يمكنه أن يتحد مع 1,3 أو مع 2,6 من وزن الأوكسجين. وعندما سجلت نتائج الاستعمالات القديمة بهذه الطريقة، قفزت إلى عين الكيميائي النسبة 1:2، وحدث هذا في تحليل تفاعلات مشهورة كثيرة، وتحليل تفاعلات جديدة أيضاً. ثم، مكّن براديغم دالتون من تمثل عمل ريختر ورؤية تعميمه الكامل. وأوحى بتجارب جديدة أيضاً، وبخاصة، تجارب غي ـ لوساك (Gay - Lussac) على الحجوم المتحدة أيضاً، وقد أعطت هذه علاقات منتظمة أخرى، علاقات لم يحلم بها الكيميائيون من قبل. ولم يكن ما أخذه الكيميائيون من دالتون قوانين تجريبية، وإنما طريقة جديدة في ممارسة الكيمياء (وقد دعاها هو نفسه «النظام الجديد للفلسفة الكيميائة») برهنت بسرعة عن كونها مثمرة، حتى إنه لم يقدر على مقاومتها سوى عدد من الكيميائيين القدامى في فرنسا وبريطانيا[25]. وكان الحاصل أن الكيميائيين عاشوا في عالم يظهر سلوك التفاعلات الكيميائية فيه مختلفاً عما كان من قبل.

(25) انظر: Andrew Norman Meldrum, «The Development of the Atomic Theory: (6) The Reception Accorded to the Theory Advocated by Dalton,» *Memoirs and Proceedings of the Manchester Literary and Philosophical Society (Manchester Memoirs)*, vol. 55 (1911), pp. 1-10.

ومع استمرار كل ذلك، حدث تغير آخر مثالي ومهم جداً. فقد بدأت المعطيات العددية للكيمياء بالتحول، هنا وهناك. فعندما بحث دالتون في الأدب الكيميائي باحثاً عن معطيات لدعم نظريته الفيزيائية، وجد بعض السجلات عن تفاعلات كيميائية مما يتلاءم معها، ولكن لم يكن بمقدوره أن يتجنب وجود سجلات أخرى غير ملائمة. وأعطت قياسات بروست على مركَّبي النحاس مع الأوكسجين، مثلاً، نسبة وزنية للأوكسجين تساوي 1,47 : 1 وليس 2 : 1، كما تقتضي النظرية الذَّرية. وكان بروست هو الشخص الذي كان من المتوقع أن يحقق النسبة الدالتونية (Daltonian)[26]. لقد كان تجريبياً جيداً، وكانت وجهة نظره عن العلاقة بين الخلائط والمركبات قريبة جداً من وجهة نظر [135] دالتون. ولكن من العسير جعل الطبيعة على شاكلة البراديغم. وذلك هو السبب في كون أحجيات العلم العادي متحدِّية، والسبب في أن القياسات التي تؤخذ من دون الاسترشاد ببراديغم نادراً ما تؤدي إلى أي نتائج على الإطلاق. لذلك، ليس بمقدور الكيميائيين أن يقبلوا، وبكل بساطة، نظرية دالتون استناداً إلى الأدلة، لأن الكثير منها لا يزال سلبياً. وبدلاً من ذلك، وحتى بعد قبول النظرية، يظل العلماء ملزمين بأن يُدخلوا الطبيعة في الخط، وهذه عملية اقتضت، في النتيجة عمل جيل آخر تقريباً. وعندما حدث ذلك، صار التركيب المئوي للمركبات المشهورة مختلفاً. وتغيرت المعطيات نفسها. وذلك هو المعنى الأخير من المعاني الذي نريد قوله، وهو أن العلماء بعد الثورة يعملون في عالَمٍ مختلف.

---

(26) حول بروست، انظر: Meldrum, «The Development of the Atomic Theory: (1) Berthollet's Doctrine of Variable Proportions,» p. 8.

التاريخ التفصيلي عن التغيرات التدريجية في قياسات الاتحاد الكيميائي والأوزان الذرية لا يزال ينتظر الكتابة، لكن بارتنغتون، الذي سبق الاستشهاد به، يوفر معلومات مفيدة في اتجاهها.



XI

الثورات لا تُرى بالعين

لا يزال علينا أن نسأل عن الكيفية التي تنتهي بها الثورات العلمية. ولكن قبل ذلك، لا بد من محاولة أخيرة لتعزيز الاعتقاد بوجودها وطبيعتها. لقد حاولت، حتى الآن، أن أقدم عرضاً عن الثورات بواسطة الأمثلة التوضيحية، ويمكن مضاعفة الأمثلة إلى درجة الملل منها. ولكن الواضح أن معظمها، الذي أُنتقي عن عمدٍ لمألوفيته، لم ينظر إليه عادة على أنه ثورات، وإنما كإضافات للمعرفة العلمية. وهذه النظرة ذاتها يمكن تطبيقها على أي أمثلة توضيحية إضافية، وستكون هذه غير مفيدة. وإني أقترح فكرة وجود أسباب عقلية ممتازة تشرح لماذا أثبتت الثورات بأنها لا تُرى بالعين تقريباً. فكل من العلماء والعاديين من البشر يستمدون صورتهم عن النشاط العلمي الخلاق من مصدر ذي سلطة يخفي بشكل منظم ـ وذلك يرجع جزئياً لمبررات وظيفية مهمة ـ وجود وأهمية الثورات العلمية. ولا يمكن المرء أن يرجو الاستفادة من المَثَل التاريخي استفادة فعالة إلا عندما تعرف طبيعة تلك السلطة وتُحلَّل. فضلاً عن ذلك، ومع أن الفكرة لا يمكن تطويرها تطويراً كاملاً إلا في الفصل

الختامي لمحاولتي، فإن التحليل المطلوب الآن سيبدأ بأن يدل على أحد نواحي العمل العلمي الذي يميزه، بأكثر ما يكون من الوضوح، عن مهنة إبداعية أخرى ربما، فيما عدا علم اللاهوت.

وكمصدر سلطة مرجعية، أذكر بصورة رئيسة كتب العلوم التدريسية ومعها الأعمال الكتابية الميسّرة والفلسفية التي تُصمَّم على شاكلتها. وهذه الأصناف الثلاثة تشترك كلها في شيء واحد ـ وقبل الآن لم توجد مصادر مهمة أخرى للمعلومات عن العلم يمكن الحصول عليها إلا من خلال ممارسة البحث. وتتوجه هذه المصادر الثلاثة إلى مقدار من المشكلات والمعطيات، والنظريات التي سبقت صياغتها، وغالباً ما تتوجه إلى مجموعة خاصة من البراديغمات التي كان يلتزم بها المتَّحد العلمي وقت كتابتها. وكتب العلوم التدريسية نفسها تهدف إلى نقل مفردات وعبارات اللغة العلمية المعاصرة. [137] والكتب المبسّطة تحاول وصف التطبيقات نفسها بلغة أقرب إلى لغة الحياة اليومية. وفلسفة العلم، وبخاصة فلسفة العلم في العالم الناطق باللغة الإنجليزية، تُحلِّل البنية المنطقية للمقدار الكامل نفسه من المعرفة العلمية. وبالرغم من أن المعالجة الأكمل ستتناول، بالضرورة، التمييزات الحقيقية بين هذه الأنواع الثلاثة، إلا أن أكثر ما يهمنا هنا هو وجوه الشبه بينها. فثلاثتها تسجل الحاصل الثابت للثورات الماضية وتعرض بالتالي أسس التقاليد العلمية ـ العادية الجارية. ولإتمام وظيفتها لا تحتاج إلى توفير معلومات صحيحة عن الطريقة التي تمَّ بواسطتها التعرف على تلك الأسس لأول مرة وشمول المهنة عليها بعد ذلك. ففي حالة كتب التدريس، على الأقل، ثمة مبررات جيدة تشرح لماذا، وفي هذه الأمور، لا بد من أن تكون مضلِّلة بشكل منظَّم.

لقد لاحظنا في الفصل الثاني أن الاعتماد المتزايد على كتب

التدريس أو ما يعادلها ترافَق، وبشكل ثابت، مع ظهور البراديغم الأول في أي حقل علمي. وسيناقش الفصل الختامي لهذه المحاولة فكرة أن سيطرة العلم المكتمل بفضل مثل هذه الكتب تفرق نمطه التطوري تفريقاً مهماً عن الأنماط التطورية لحقول أخرى. ولنسلّمْ للحظة أن المعرفة العلمية عند الإنسان العادي وعند الاختصاصي الذي يمارس العلم وإلى حد غير مسبوق في حقول أخرى، مبنية على كتب التدريس وعلى أنواع قليلة أخرى من الأدب العلمي المشتق منها. غير أن كتب التدريس باعتبارها وسائل تعليمية هدفها نشر العلم العادي، لا بد من إعادة كتابتها كلياً أو جزئياً عندما تتغير لغة العلم العادي أو بنية مشكلاته أو معاييره. وباختصار، يجب إعادة كتابتها بعد كل ثورة علمية، وما إن تعاد كتابتها، لا مناص من إخفائها وجود الثورات ذاتها التي أنتجتها، وليس دورها فقط. وما لم يختبر العالِم أو القارئ العادي لأدب التدريس، اختباراً شخصياً، ثورة في حياته، فإن الحس التاريخي لأي منهما لا يمتد إلا إلى حاصل أكثر الثورات حداثة في الحقل العلمي.

وهكذا، فإن كتب التدريس تبدأ ببتر حسّ العالم بتاريخ نظامه المعرفي، ثم تستمر لتقدم بديلاً مما حذفته. وإن الظاهرة المميزة لكتب تدريس العلم هي أنها تحتوي على قدر قليل من التاريخ يوجد في فصل تمهيدي، أو غالباً ما يوجد في إشارات مبعثرة إلى الأبطال [138] العظام لعصر سابق. وبفضل هذه الإشارات يشعر الطلاب والمهنيون الاختصاصيون بأنهم مشاركون في تراث تاريخي مديد. ومع ذلك، فإن التراث المشتق من كتب التدريس الذي به يشعر العلماء بمشاركتهم هو تراث غير موجود في الواقع. ولمبررات واضحة ووظيفية، لا تشير كتب تدريس العلوم (والكثير من تواريخ العلم الأقدم) إلا إلى ذلك الجزء من عمل العلماء القدامى الذي يمكن

النظر إليه على أنه إسهامات في نص وحل مشكلات براديغم هذه الكتب. وقد جرى تمثيل علماء العصور السابقة تمثيلاً ضمنياً، بعضه يتعلق بالانتقاء وبعضه على علاقة بالتحريف، على أنهم اشتغلوا على مجموعة المشكلات الثابتة نفسها، وطبقاً لمجموعة القوانين الثابتة ذاتها التي جعلتها أحدث ثورة في النظرية العلمية والمنهج العلمي تبدو علمية. فلا غرابة في لزوم إعادة كتابة كتب الدراسة والتراث التاريخي الذي تتضمنه بعد كل ثورة علمية. ولا عجب في أن يبدو العلم، بعد إعادة كتابتهما، وللمرة الثانية تراكمياً بصورة كبيرة.

وطبعاً، ليس العلماء المجموعة الوحيدة التي تميل إلى رؤية ماضي نظام معرفتها متطوراً بصورة خطية نحو مركزه الممتاز الحاضر. فإن الإغراء بإعادة كتابة التاريخ في اتجاه الماضي هو إغراء دائم الحضور وأبدي. غير أن العلماء أكثر من سواهم انفعالاً بهذا الإغراء لكتابة التاريخ من جديد، ويعود ذلك في بعض منه إلى أن نتائج البحث العلمي لا تبيِّن أي اعتماد واضح على السياق التاريخي للبحث، وفي بعضه الآخر لأن الوضع المعاصر للعالم يبدو آمناً، باستثناء فترتي الأزمة والثورة. وإن الإكثار من التفاصيل التاريخية عن حاضر العالم أو عن ماضيه، أو زيادة المسؤولية عن التفاصيل التاريخية التي تُقدَّم، لا يمكن إلا أن تعطي وضعية مصطنعة للخصوصية البشرية، وخطئها، وغموضها. فلماذا تمجيد ما جعلته أفضل جهود العلم وأكثرها إصراراً مستحقاً النبذ؟ إن الإنقاص من قيمة الواقعة التاريخية مزروع بعمق، وربما عملياً، في أيديولوجيا المهنة العلمية، وهي المهنة التي تضفي أعلى القيم على التفاصيل الواقعية من الأنواع الأخرى. وقد أمسك وايتهد (Whitehead) بالروح اللاتاريخية للمتَّحد العلمي عندما كتب قائلاً: «إن العلم الذي يتردد في مسألة نسيان مؤسِّسيه خاسر». ومع ذلك، لم يمكن محقاً تماماً، [139]

لأن العلوم، مثل المشاريع المهنية الأخرى، تحتاج إلى أبطالها بالتأكيد، وهي تحتفظ بأسمائهم. ولحسن الحظ، إن العلماء، بدلاً من نسيان هؤلاء الأبطال، كانوا قادرين على نسيان أو مراجعة أعمالهم.

وكانت النتيجة ميلاً مصرّاً إلى جعل تاريخ العلم يبدو خطياً أو تراكمياً، وهو الميل الذي يؤثر في العلماء الذين يعيدون النظر في أبحاثهم أيضاً. فمثلاً، أظهرت شروح دالتون الثلاثة المتناقضة لتطور مذهبه الذري الكيميائي أنه كان مهتماً منذ وقت مبكر بتلك المشكلات الكيميائية، وحدها، التي تختص بنسب التركيب الكيميائي التي اشتهر في ما بعد بحلها. والواقع أن تلك المشكلات وحلولها لم تخطر على فكره إلا عندما أشرف عمله الخلاق على النهاية تقريباً[1]. وما تحذفه كل شروح دالتون هو النتائج الثورية لتطبيق مجموعة من الأسئلة والتصورات على علم الكيمياء، وهي التي انحصر تطبيقها في السابق في علم الفيزياء وفي علم الأرصاد الجوية. ذلك ما فعله دالتون، وكانت النتيجة إعادة نظر في التوجه نحو الحقل العلمي توجهاً جديداً علّم الكيميائيين أن يطرحوا أسئلة جديدة عن المعطيات القديمة ويستخلصوا منها نتائج جديدة.

وأيضاً، كَتَبَ نيوتن عن غاليليو أنه اكتشف أن قوة الجاذبية الثابتة تنتج حركة متناسبة مع مربع الزمن. والواقع هو أن نظرية غاليليو الحركية قد اتخذت تلك الصورة فعلياً عندما صُيِّرتْ جزءاً لا يتجزأ من شبكة التصورات الدينامية لنيوتن ذاته. لكن غاليليو لم يأتِ على ذكر شيء من هذا القبيل. ونادراً ما كانت مناقشته للأجسام

(1) انظر: Leonard Kollender Nash, «The Origin of Dalton's Chemical Atomic Theory,» *Isis*, vol. 47 (1956), pp. 101-116.

الساقطة تلمّح إلى وجود قوى، وقلّما ألمحت إلى وجود قوة جاذبية منتظمة هي سبب سقوط الأجسام(2). وعندما ينسب نيوتن الفضلَ إلى غاليليو بالإجابة عن سؤال لا يسمح براديغمه بطرحه، فإن شرح نيوتن يخفي تأثير إعادة صياغة طفيفة، لكنها ثورية في الأسئلة التي طرحها العلماء عن الحركة، وفي الأجوبة التي شعروا بأنه يمكنهم [140] قبولها أيضاً. ولكن هذا النوع من التغيير في صياغة الأسئلة والأجوبة هو بالذات ما يهم، أكثر بكثير من الاكتشافات التجريبية الجديدة، للانتقال من الديناميكا الأرسطية إلى ديناميكا غاليليو ومن هذه إلى ديناميكا نيوتن. فبإخفاء مثل هذه التغييرات يخفي ميل كتب التدريس لجعل تطور العلم خطياً عمليةً تقع في صميم أهم أحداث التطور العلمي.

تعرض الأمثلة السابقة، وكل واحد يُعرَض في سياق ثورة واحدة، بدايات إعادة بناء التاريخ الذي اكتمل بانتظام بكتب تدريس علم ما بعد الثورة. ولكن ما اشتمل عليه ذلك الاكتمال هو أكثر من الإكثار من إساءات بناء التاريخ الموضحة أعلاه. فتلك الإساءات جعلت الثورات ثورات لا تُرى بالعين، ويتضمن ترتيب ما بقي من المادة المنظورة في كتب تدريس العلم عملية، لو وجدت، لكانت ألغت وظيفة الثورات. ولأن كتب التدريس تهدف بسرعة إلى تعريف الطالب بما يظن المتَّحد العلمي المعاصر أنه يعرف، فهي تتعامل مع

(2) للاحظة نيوتن، انظر: Isaac Newton, *Sir Isaac Newton's Mathematical Principles of Natural Philosophy and his System of the World*, Translated By Florian Cajori Newton (Berkeley, Calif.: [University of California Press], 1946), p. 21.

يجب مقارنة هذا المقطع بمناقشة غاليليو الخاصة الموجودة في محاوراته في: Galileo Galilei, *Dialogues Concerning Two New Sciences*, Translated from the Italian and Latin into English by Henry Crew and Alfonso de Salvio (Evanston, Ill: Northwestern University, 1946), pp. 154-176.

التجارب المختلفة، والتصورات، والقوانين، ونظريات العلم العادي الجاري، بطريقة منفصلة وبطريقة متسلسلة بقدر الإمكان. هذا الأسلوب التقني في العرض رائع من الوجهة التربوية ـ التعليمية. ولكنه عندما يُضم إلى المناخ اللاتاريخي العام لكتابة العلم وإلى الإنشاءات السيئة وغير المنتظمة أحياناً التي نوقشت أعلاه، فمن المرجح أن يتولّد انطباع قوي، وهو: لقد توصل العلم إلى حالته الراهنة بواسطة سلسلة من الاكتشافات والاختراعات المنفردة، وإن هذه، عندما تضم إلى بعضها البعض، تؤلف الجسم الحديث للمعرفة التقنية. فيتضمن العرض الذي يقدمه كتاب التدريس، ومنذ بداية المشروع العلمي، أن العلماء قد جاهدوا للأهداف الخاصة المتجسدة في براديغمات اليوم. وهكذا أضاف العلماء، الواحد بعد الآخر، وفي عملية تشبه إضافة الحجارة إلى البناء، واقعة أخرى، أو تصوراً، أو قانوناً، أو نظرية إلى كتلة المعلومات التي يوفرها كتاب التدريس المعاصر.

لكن العلم لا يتطور بتلك الطريقة. فالكثير من أحجيات العلم العادي المعاصر لم يظهر إلى الوجود إلا بعد ظهور أحدث ثورة علمية. والقليل القليل منها يمكن تتبع ظهوره في الماضي إلى البداية [141] التاريخية للعلم الذي تحدث الآن في داخله. وكانت الأجيال السابقة قد لاحقت مشكلاتها الخاصة بأدواتها الخاصة وبقوانينها الخاصة لحلّها. لكن التغير لم يُصِبْ المشكلات وحدها. بل إن كل الشبكة الشاملة للوقائع والنظرية، التي يوائم كتاب التدريس بينها وبين الطبيعة قد تحوّل. فعلى سبيل المثال، هل ثبات التركيب الكيميائي هو مجرد واقعة تجريبية، كان بإمكان الكيميائيين اكتشافه عن طريق التجربة في إطار أحد عوالم ممارستهم؟ أم هو عنصر واحد ـ وهو عنصر لا يرقى إليه الشك ـ في بنية تضم واقعاً ونظرية لاءم دالتون

بينها وبين الخبرة الكيميائية السابقة كلها فغُيِّرت تلك الخبرة عبر عملية الملاءمة؟ على نحو مماثل، هل التسارع الثابت الذي تنتجه قوة ثابتة هو مجرد واقعة كان طلاب علم الديناميكا يبحثون عنها دائماً، أم هو جواب عن سؤال لم ينشأ، ولأول مرة، إلا داخل النظرية النيوتونية، وإن تلك النظرية يمكنها الإجابة عنه من كتلة المعلومات التي يمكن الوصول إليها قبل طرح السؤال؟

هذه الأسئلة تُطرح هنا حول ما يبدو أنه وقائع مكتشفة بطريقة تجزيئية معروضة في كتاب التدريس. ولكن من الواضح أن لها نتائج أيضاً تخص ما يقدمه كتاب التدريس على أنه نظريات. وهذه النظريات، هي طبعاً، وبالتأكيد «تلائم الوقائع»، ولكن بتحويل المعلومات التي أمكن الوصول إليها سابقاً إلى وقائع لم توجَد إطلاقاً في البراديغم السابق. وهذا معناه أن النظريات أيضاً لا تتطور تجزيئياً لتلائم الوقائع الموجودة في كل وقت. بل إنها تظهر هي والوقائع التي تلائمها معاً من إعادة تشكيل ثورية للتقليد العلمي السابق، وهو التقليد الذي لم تكن فيه العلاقة التي تتوسط المعرفة ما بين العالِم والطبيعة هي العلاقة نفسها.

وهناك مثل واحد أخير يمكنه أن يوضح هذا الشرح لتأثير ما يعرضه كتاب التدريس على تصورنا للتطور العلمي. فكل كتاب تدريس للكيمياء الابتدائية يجب أن يناقش تصور العنصر الكيميائي. ودائماً تقريباً، عندما يقدم ذلك المفهوم، فإن أصله ينسب إلى الكيميائي روبرت بويل (Robert Boyle) الذي عاش في القرن السابع عشر، والذي سيجد القارئ المنتبه في كتابه **الكيميائي الشكاك** [142] (*Sceptical Chemist*) تعريفاً لـِ «العنصر» قريباً من تعريفه المستعمل اليوم. والإشارة إلى إسهام بويل تساعد في جعل المبتدئ مدركاً أن الكيمياء لم تبتدئ بعقاقير الكبريت، ثم إنها تخبره بأن أحد أعمال

العالم التقليدية هو ابتكار تصورات من هذا القبيل. وكجزء من الصناعة التعليمية ـ التربوية التي تنشّئ العالِم، تعتبر تلك النسبة إلى عالم سابق مثل بويل عملاً ناجحاً أيّما نجاح. ومع ذلك فهي توضح مرة أخرى نمط الأغلاط التاريخية التي تضلل الطلاب والعاديين من البشر حول طبيعة المشروع العلمي.

وبحسب بويل، كان «تعريف» العنصر لا يتعدى صياغة جديدة لتصور تقليدي كيميائي، وكان في ذلك محقاً تماماً. وقد قدمه بويل لكي يحاجج لجهة عدم وجود شيء كالعنصر الكيميائي، لذا فإن النسخة الواردة في كتاب التدريس عن إسهام بويل هي، من الوجهة التاريخية، مغلوطة تماماً[3]. وذلك الغلط هو، طبعاً، لا قيمة له، وتفاهته لا تزيد على أي إساءة أخرى في تقديم المعطيات. غير أن ما ليس تافهاً هو الانطباع عن العلم الذي يتعزز عندما يتضاعف هذا النوع من الغلط أولاً ثم يتغلغل في البنية التقنية لكتاب التدريس. إن تصور العنصر مثله مثل تصورات «الزمان» أو «الطاقة»، أو «القوة»، أو «الجُسَيْم»، هو من ذلك النوع من مكونات كتاب التدريس الذي لا يكون مخترعاً أو مكتشفاً إطلاقاً. وتعريف بويل، بخاصة، يمكن تتبعه في الماضي حتى أرسطو على الأقل، وإلى كتب التدريس الحديثة عبر لافوازييه. ومع ذلك، لا يعني ذلك القول بأن العلم يملك التصور الحديث للعنصر منذ القدم. فالتعريفات اللفظية كتعريف بويل فقيرة المحتوى العلمي عندما ينظر إليها بحّد ذاتها. فهي ليست تحديدات منطقية كاملة (هذا إذا وجد مثل ذلك)، ولكنها أقرب ما تكون إلى الوسائل التربوية التعليمية المساعدة. فالتصورات العلمية التي تشير إليها لا تحوز على مغزى كامل إلا عندما تربط، داخل

---

(3) انظر: Thomas S. Kuhn, «Robert Boyle and Structural Chemistry in the Seventeenth Century,» *Isis*, vol. 43, no. 1 (April 1952), pp. 26-29.

نص أو في عرض منظم آخر، بتصورات علمية أخرى، وبإجراءات عملية، وبتطبيقات براديغم. وتكون النتيجة أن تصورات مثل ذلك التصور للعنصر قلّما تخترع باستقلال عن السياق. ثم، إذا فرض وجود السياق، فهي قلما تقتضي أن تخترع لأنها موجودة وفي متناول اليد. لقد غير كلٌّ من بويل ولافوازييه المغزى الكيميائي لـ «العنصر» [143] بطرق مهمة. غير أنهما لم يخترعا المفهوم أو حتى لم يغيرا الصيغة اللفظية التي تساعد على تعريفه. وكما كنا قد رأينا، لم يكن على إينشتاين أن يخترع أو حتى أن يعيد تعريف «المكان» و«الزمان» بوضوح لكي يعطيهما معنيين جديدين داخل سياق عمله.

إذاً، ماذا كانت وظيفة بويل التاريخية في ذلك الجزء من عمله الذي اشتمل على «التعريف» المشهور؟ لقد كان قائداً لثورة علمية حوّلت، بتغييرها علاقة «العنصر» بالاستعمالات الكيميائية والنظرية الكيميائية، المفهوم إلى أداة مختلفة تماماً عما كان عليه من قبل، وحوّلت الكيمياء وعالَم الكيميائي في مجرى العملية(4). أما الثورات الأخرى، ومنها التي تدور حول لافوازييه، فقد اقتضت أن تعطي التصوّر صورته ووظيفته الحديثتين. لكن بويل وفَّر مثلاً مثالياً عن العملية في كل مرحلة من هذه المراحل ولما يصيب تلك العملية عندما تكون المعرفة الموجودة متجسدة في كتاب تدريس. وإن تلك الصورة التعليمية التربوية قد حددت، أكثر من أي ناحية منفردة أخرى من نواحي العلم، الصورة، لدينا، عن طبيعة العلم، ودور الاكتشاف والاختراع في تقدّمه.

---

(4) انظر: Marie Boas Hall, *Robert Boyle and Seventeenth-Century Chemistry* (Cambridge, MA: Cambridge University Press, 1958).

وتعالج الكاتبة، في كتابها ذاك، وفي مواضع كثيرة، الإسهامات الإيجابية للعالِم بويل في تطور تصور العنصر الكيميائي.

XII

خمود الثورات

إن كتب التدريس التي كنا نناقشها قبل قليل لا تنتج إلا بعد ثورة علمية. فهي أسس لتقليد جديد لعلم عادي. وفي تناولنا مسألة بنيتها افتقدنا إحدى الخطوات. فما هي العملية التي بها يحل براديغم جديد محل سلفه؟ إن أي تفسير للطبيعة، سواء أكان اكتشافاً أم نظرية، ينشأ أول ما ينشأ في عقل واحد أو نفر قليل من الأفراد. فهؤلاء هم الأولون الذين يتعلمون النظر إلى العلم والعالَم نظرة مختلفة، وقدرتهم على تحقيق الانتقال يسهلها ظرفان لا يشترك فيهما معظم الأعضاء الآخرين في مهنتهم. ودائماً ما يكون انتباههم مركَّزاً بقوة على المشكلات المثيرة للأزمة، وهم أيضاً يكونون، في العادة، صغار السن أو حديثي العهد بالحقل الذي تمزقه الأزمات، فممارستهم أقل التزاماً من معظم معاصريهم بالنظرة إلى العالم والقواعد المحددة بالبراديغم القديم. فكيف يقدرون، وماذا يجب عليهم أن يفعلوا، لكي يحولوا المهنة كلها أو قسماً من المجموعة المهنية إلى طريقتهم في رؤية العلم والعالم؟ وما هي الأسباب التي تجعل المجموعة تهجر تقليداً من البحث العادي لمصلحة تقليد آخر؟

ولكي نرى إلحاحيّة هذه الأسئلة، يجب أن نتذكر أنها الإنشاءات الوحيدة الجديدة التي يمكن المؤرخ أن يقدمها لبحث فيلسوف معنيٍّ بفحص النظريات العلمية القائمة، أو التحقق منها، أو تكذيبها. فطالما كان الباحث منشغلاً في علم عادي، فهو حلّال أحجيات، وليس فاحصاً لبراديغمات. ومع أنه قد يجرب عدداً من المقاربات البديلة خلال البحث عن حل لأحجية معينة، فيعمل على رفض تلك المقاربات التي تُخفق في إنتاج النتيجة المرجوّة، إلا أنه لا يكون بصدد فحص البراديغم عندما يفعل ذلك. فبدلاً من ذلك، يكون مثله مثل لاعب الشطرنج، والمشكلة ورقعة الشطرنج الفيزيائية أو التي في عقله أمامه، يجرب حركاتٍ مختلفةً بديلةً بحثاً عن حلّ. هذه المحاولات التجريبية، سواء أقام بها لاعب الشطرنج أم قام بها العالم، ليست إلا محاولات تطبيقية لذاتها، وليست لقواعد اللعبة. [145] وهي تكون ممكنة طالما أن البراديغم ذاته أمرٌ مسلّم به. لذا، فإن فحص البراديغم لا يحصل إلا بعد أن يؤدي الإخفاق المتواصل في حل أحجية مهمة إلى أزمة. وحتى عندئذ، لا يحصل إلا بعد أن يثير الحس بالأزمة مرشحاً براديغمَ بديلاً ولا يَمْثُلُ الموقف الفاحص في العلوم، كما في حل الأحجيات، في مقارنة براديغم واحد بالطبيعة، بكل بساطة. فعوضاً عن ذلك، يحصل الفحص كجزءٍ من منافسة بين براديغمين متنافسين طلباً لولاء المتَّحد العلمي.

وبفحص دقيق، تعرض هذه الصياغة موازنة مهمة وربما غير متوقعة مع نظريتين فلسفيتين معاصرتين، هما من أكثر النظريات شيوعاً، متعلقتين بمسألة التحقق العلمي. فعدد قليل من فلاسفة العلم لا يزال يبحث عن معايير مطلقة للتحقق من النظريات العلمية. وفي ضوء ملاحظتهم أن لا نظرية يمكن تعريضها لكل الفحوص الممكنة ذات الصلة، فإنهم لا يسألون عما إذا كانت النظرية قد تحققت وإنما

عن احتمال تحققها في ضوء الدليل الموجود فعلياً. وللإجابة عن ذلك السؤال، إنجرّت إحدى المدارس المهمة إلى مقارنة قدرة نظريات مختلفة على شرح الدليل الموجود في متناول اليد. وذلك الإصرار على مقارنة النظريات يميز، أيضاً، الموقف التاريخي الذي تقبل فيه نظرية جديدة. ومن المحتمل جداً أن يشير إلى أحد الاتجاهات الذي يجب أن تتوجه إليه مناقشات التحقق العلمي المستقبلية.

وعلى كل حال، تلتجئ نظريات التحقق الاحتمالي في معظم صورها العادية إلى واحدة من لغات المشاهدة أو أخرى، البحتة منها أو الحيادية، التي نوقشت في الفصل العاشر. وإحدى هذه النظريات المحتملة تطلّبتْ أن نقارن النظرية العلمية الموجودة مع النظريات الأخرى كلها التي يمكن تخليها لتلائم مجموعة المعطيات المشاهدة ذاتها. ونظرية أخرى تتطلب أن ننشئ في الخيال الفحوص كلها التي يمكن الطلب من النظرية الموجودة اجتيازها[1]. ومن الواضح أن مثل هذه الإنشاءات ضروري لحساب احتمالات معينة، مطلقة أو نسبية، ومن الصعب رؤية كيف يمكن لمثل هذا الإنشاء أن يتحقق. وكما [146] سبق لي أن أكدت، أقول، إذا لم يكن هناك وجود نظام لغة أو تصورات، حيادي أو علمي أو تجريبي، فإن الإنشاء المقترح لفحوص ونظريات بديلة يجب أن يَنشأ من داخل واحد من التقاليد المبنية على براديغم أو آخر. وبهذا التقييد، لن يكون له صلة بكل الخبرات الممكنة، أو بكل النظريات الممكنة. والحاصل هو أن

---

(1) للاطلاع على تخطيط مختصر يشمل الطرق الرئيسة المؤدية إلى نظريات التحقق الاحتمالي، انظر: Ernest Nagel, «*Principles of the Theory of Probability*,» *International Encyclopedia of Unified Science* (Chicago), vol. 1, no. 6 (1939), pp. 60-75.

النظريات الاحتمالية تخفي الموقف التحققي بقدر ما تنيره. ومع أن ذلك الموقف يعتمد، مثلما يؤكدون، على مقارنة النظريات وكثير من الأدلة الواسعة الانتشار، فإن النظريات والمشاهدات التي نحن بصددها هي دائماً ذات علاقة وثيقة بأخرى سبق أن وُجدت. إن التحقق مثل الانتقاء الطبيعي: فهو ينتقي الأقدر على البقاء من بين البدائل الواقعية الموجودة في موقف تاريخي معين. والسؤال عما إذا كان ذلك الخيار هو أفضل ما أمكن القيام به لو أمكن الحصول على بدائل أخرى أيضاً، أو لو أن المعطيات كانت من نوع آخر، ليس السؤال الذي ينفع طرحه. فليس ثمة أدوات لتستخدم في البحث عن أجوبة له.

هناك مقاربة مختلفة جداً لكل هذه الشبكة من المشكلات كان قد طورها كارل ر. بوبر (Karl R. Popper) الذي نفى وجود أي إجراءاتِ تَحَقّقٍ إطلاقاً[2]. وبدلاً من ذلك، فقد أكد أهمية إثبات وجود تكذيب، أي القول، لأن حاصل الفحص سلبي، فإن ما يلزم عن ذلك هو رفض نظرية قائمة. من الواضح أن الدور الذي ينسب إلى إثبات وجود تكذيب يشبه الدور الذي عينته هذه المحاولة لخبرات عدم التوقع، أي للخبرات التي تُعِدُّ، بإثارتها أزمة، الطريقَ لظهور نظرية جديدة. ومع ذلك، فإن خبرات ظواهر عدم التوقع يمكن أن لا تكون متطابقة مع خبرات إثبات التكذيب. والحق، إني أشك بوجود مثل الخبرات الأخيرة. وكما حصل تأكيده تكراراً من قبل، لا وجود لنظرية تحل الأحجيات كلها التي تواجَه بها في وقت معين، وليست الحلول التي تحققت سابقاً كاملة في أغلب

---

(2) انظر: Karl Raimund Popper, *The Logic of Scientific Discovery* (New York: [Basic Books, 1959]), esp. chaps. 1-4.

الأحيان. فعلى العكس من ذلك، إن عدم اكتمال وعدم كمال الملاءمة ما بين النظرية والمعطيات هما اللذان يحددان، وفي كل وقت، الكثير من الأحجيات التي تميّز العلم العادي. وإذا كان أي فشل وكل فشل في الملاءمة هو، افتراضاً، أساس رفض النظرية، لكان من الواجب أن ترفض كل النظريات وفي كل الأوقات. ومن جهة أخرى، إذا كان الفشل الذريع في الملاءمة هو وحده الذي يبرر [147] رفض النظرية، فسوف يحتاج أتباع بوبر (Popperians) معياراً «لعدم احتمال» أو «درجة من التكذيب». وفي مسعاهم لتطوير معيار من هذا القبيل، فإنهم سيواجهون وبالتأكيد، شبكة الصعاب ذاتها التي أقلقت بتردد ظهورها المنافحين عن نظريات التحقق الاحتمالية المختلفة.

إن الكثير من الصعوبات السابقة يمكن تجنّبه عن طريق الإدراك بأن وجهتي النظر الشائعة والمتضادة، كلتيهما، حول المنطق الأساسي للبحث العلمي قد حاولتا ضغط عمليتين منفصلتين كثيراً في عملية واحدة. إن خبرة بوبر بظواهر عدم التوقع مهمة للعلم لأنها تستحضر ما ينافس البراديغم الموجود. ولكن تكذيب النظرية، مع وجود المؤكد، لا يحدث مع ظهور ظاهرة عدم التوقع أو حادثة تثبت التكذيب أو بسببهما. وبدلاً من ذلك، فإن التكذيب عملية منفصلة وتالية يمكن تسميتها أيضاً بعملية التحقق العلمي، ذلك، لأنها تَمْثُلُ في فوز براديغم جديد على براديغم قديم. وبالإضافة إلى ذلك، ففي العملية المشتركة الجامعة ما بين التحقق والتكذيب يقع الدور المركزي الذي تؤدّيه المقارنة بين النظريات التي يجريها القائل بالاحتمال. وأعتقد أن مثل هذه الصياغة ذات المرحلتين لها فضيلة مظهرين عظيمين، كما يمكنها أيضاً أن تساعدنا على البدء بشرح دور الاتفاق (أو عدمه) بين الواقع والنظرية في عملية التحقق العلمي. أما بالنسبة إلى المؤرخ، فقلما تعني شيئاً فكرة أن التحقق العلمي هو

تأسيس الاتفاق ما بين الواقع والنظرية. فكل النظريات المهمة في التاريخ اتفق مع الوقائع بصورة تقريبية. فلا يوجد جواب أكثر دقة عن السؤال، مما إذا كانت إحدى النظريات تتلاءم مع الوقائع أو لأي درجة هي كذلك. غير أن أسئلة من هذا النوع يمكن طرحها عندما ينظر إلى النظريات في مجموعها أو زوجاً زوجاً. ويكون المعنى عظيماً للسؤال عن أي من نظريتين واقعيتين متنافستين هي **الأكثر ملاءمة** للوقائع. وبالرغم من عدم اتفاق نظريتي بريستلي ولافوازييه، على سبيل المثال، مع المشاهدات الموجودة، فقد تردد نفر قليل من المعاصرين لأكثر من عقد من الزمان، ليستنتجوا بعده أن نظرية لافوازييه هي التي وفرت الملاءمة الأفضل.

غير أن هذه الصياغة تجعل مهمة الاختيار من بين البراديغمات تبدو أيسر ومألوفة أكثر مما هي. وعلى افتراض وجود مجموعة واحدة من المشكلات العلمية، وعالَم واحد للعمل عليها من خلاله، [148] ومجموعة واحدة من المعايير لحلها، فإن المنافسة ما بين البراديغمات يمكن حسمها بشكل تقريبي وبطريقة عادية بعملية مثل حساب عدد المشكلات التي يحلها كل براديغم. ولكن، لا وجود لمثل هذه الحالات في الواقع. فالمناصرون للبراديغمات المتنافسة أهدافهم متعارضة، ولو قليلاً. فلا يعطي أحد الجانبين الافتراضات اللاتجريبية كلها التي يحتاجها الجانب الآخر، لإعداد قضيته. فيكونون، مثل بروست وبيرتوليه (Bertholet) المتجادلين حول مسألة تركيب المركبات الكيميائية، منهمكين بالرد على بعضهم، وبلا طائل. ومع أنه كان من الممكن أن يأمل أي واحد منهم أن يحول الآخر ليأخذ برأيه في علمه ومشكلات علمه، لا يمكن أياً أن يأمل في إثبات قضيته. فالمنافسة بين البراديغمات ليست ذلك النوع من المعارك الذي يمكن حسمه بالبراهين.

لقد سبق أن رأينا أسباباً عدة تشرح لماذا كان لا بد لمناصري البراديغمات المتنافسة أن يفشلوا في تحقيق تماسّ كامل مع وجهة نظر كل واحد منهم. وقد وصفت جملة هذه الأسباب بأنها ظاهرة عدم إمكان مقارنة تقاليد العلم العادي السابقة للثورة مع تلك التي وجدت بعد الثورة، وما نحتاجه هو تلخيصها باختصار هنا ليس إلا. في المقام الأول، غالباً ما يختلف مناصرو البراديغمات المتنافسة على لائحة المشكلات التي يجب على أي مرشح ليكون براديغم أن يحلها. كذلك فإن معاييرهم أو تعريفاتهم للعلم ليس متفقة. فهل من واجب نظرية الحركة أن تشرح قوى التجاذب بين جسيمات المادة المتجاذبة فيما بينها، أو يمكنها، فقط، أن تلاحظ، وجود مثل هذه القوى؟ وقد رُفِضتْ ديناميكا نيوتن رفضاً واسعاً لأنها، خلافاً لنظريتي أرسطو وديكارت، تضمنت الجواب الثاني عن السؤال. وعندما قُبِلتْ نظرية نيوتن أستبعد السؤال من العلم تبعاً لذلك. وكان ذلك السؤال، على كل حال، هو الذي مكَّن النظرية النسبية العامة أن تدّعي، وبفخر، أنها وجدت حلاً له. أو، أيضاً، وكما شاع في القرن التاسع عشر، فقد منعت نظرية لافوازييه الكيميائية الكيميائيين من السؤال عن سبب تشابه المعادن، وهو السؤال الذي كانت الكيمياء الفلوجستونية قد طرحته وأجابت عنه. فلم يعنِ الانتقال إلى براديغم لافوازييه، مثله مثل الانتقال إلى براديغم نيوتن، خسارةً سؤال مسموح به فقط، بل خسراناً لحلٍّ متحقق. كما لم يكن ذلك الخسران دائم الوقوع. ففي القرن العشرين، دخلت العلم، ومن جديد أسئلة عن صفات المواد [149] الكيميائية، ومعها بعض الأجوبة عنها.

وعلى كل حال، هناك أكثر من ظاهرة **عدم إمكان مقارنة** المعايير. فبما أن البراديغمات الجديدة تُولَد من البراديغمات القديمة، فإنها تدمج في بنيتها الكثير من المفردات والأجهزة الفكرية والعملية

التي كان البراديغم التقليدي قد سبق أن وظفها. ولكن قلما تستعمل هذه العناصر المستعارة بالطريقة التقليدية. ففي البراديغم الجديد تدخل المصطلحات القديمة، والتصورات، والتجارب، في علاقات جديدة فيما بينها. والنتيجة الحتمية هي ما لا بد من تسميته سوء تفاهم ما بين المدرستين المتنافستين، بالرغم من أن هذا المصطلح ليس صحيحاً تماماً. فالبشر العاديون الذين سخروا من نظرية إينشتاين في النسبية العامة، لأن المكان لا «ينحني» إذ لم يكن ذلك النوع من الأشياء التي تنحني - لم يكونوا بكل بساطة على غلط أو مخطئين. ومثلهم، لم يكن الرياضيون، والفيزيائيون، والفلاسفة، الذين حاولوا تطوير نسخة إقليدية (Euclidian) عن نظرية إينشتاين[3]. فما كان يعنيه المكان في الماضي هو أنه لا بد أن يكون منبسطاً، ومتجانساً، ومتساوي الخواص في كل نقاطه، ولا يتأثر بوجود المادة. ولو لم يكن كذلك، لما أمكن للفيزياء النيوتونية أن تكون ذات جدوى. ولتحقيق الانتقال إلى عالم إينشتاين، كان لا بد من نقل كل شبكة التصورات التي خيوطها المكان، والزمان، والمادة، والقوة، وما شابه، وإسقاطها على الطبيعة كلها من جديد. وليس يقدر على الاكتشاف الدقيق للاتفاق أو عدمه إلا أولئك الأشخاص الذين أنجزوا أو أخفقوا في إنجاز ذلك التحول. فالاتصالات عبر الخط الثوري

---

(3) للاطلاع على ردود فعل العاديين من البشر على تصور المكان المنحني، انظر: Philipp Frank, *Einstein, His Life and Times*, Translated from a German Manuscript by George Rosen; Edited and Revised by Shuichi Kusaka (New York: [A. A. Knopf], 1947), pp. 142-46.

وللاطلاع على محاولات قليلة للحفاظ على مكاسب النظرية النسبية العامة في المكان الإقليدي، انظر: Charles Nordmann, *Einstein and the Universe; a Popular Exposition of the Famous Theory*, Trans. by Joseph McCabe; with a Preface by the Rt. Hon. the Viscount Haldane (New York: [H. Holt], 1922), chap. ix.

الفاصل هي اتصالات جزئية لا محالة. وكمثل آخر، لنأخذ الناس الذين وصفوا كوبرنيكوس بالجنون، لأنه أعلن أن الأرض تتحرك. فهؤلاء لم يكونوا مجرد مخطئين، أو مخطئين تماماً. إذ كان جزء مما عنوه بـ «الأرض» الموضع الثابت. فأرضهم، في أقل معنى لها، لا يمكن تحريكها. ويقابل ذلك، أن جديد كوبرنيكوس لم يكن مجرد تحريك الأرض. لقد كان طريقة جديدة شاملة في اعتبار مشكلات علمي الفيزياء والفلك، غيّرت بالضرورة معنيي «الأرض» [150] و«الحركة»[4]. ومن دون تلك التغييرات يكون تصور الأرض المتحركة ضرباً من الجنون. ومن جهة أخرى، حالما حصلت تلك التغييرات وصارت مفهومة، تمكن ديكارت وهويغنز من الإدراك بأن حركة الأرض كانت مسألة فارغة المضمون بالنسبة إلى العلم[5].

هذه الأمثلة تشير إلى ناحية ثالثة هي الأكثر جوهرية من نواحي ظاهرة عدم إمكان مقارنة البراديغمات المتنافسة. إن مناصري البراديغمات المتنافسة يمارسون مهنتهم في عوالم مختلفة، وذلك بمعنى لا أستطيع شرحه شرحاً إضافياً. فأحد العوالم يحتوي على أجسام مكبوحة تسقط ببطء، وآخر يشتمل على أنواع من النوّاس تكرر حركاتها مرات متتابعة. وفي أحد العوالم تبدو المحاليل مركبات، وفي عالم آخر تبدو خلائط. وهناك عالم موجود في نسيج

(4) انظر: Thomas S. Kuhn, *The Copernican Revolution; Planetary Astronomy in the Development of Western Thought* (Cambridge, MA: [Harvard University Press], 1957), chaps. iii-iv and vii..

وقد كانت فكرة أن مدى نظرية مركزية الشمس أبعد من كونها مجرد مسألة فلكية محصورة بعلم الفلك، الفكرة الرئيسة للكتاب كله.

(5) انظر: Max Jammer, *Concepts of Space; the History of Theories of Space in Physics*, Foreword by Albert Einstein (Cambridge, MA: [Harvard University Press], 1954), pp. 118-24.

منبسط من المكان، وآخر في مكان منحنٍ. وبممارستهم في عوالم مختلفة، ترى المجموعتان من العلماء أشياء مختلفة عندما ينظرون من الموقع نفسه وفي الاتجاه نفسه. وهذا لا يفيد القول بأنهم يستطيعون أن يروا أي شيء يشاؤون. فكلاهما ينظران إلى العالَم، وما ينظرون إليه لم يتغير. ولكنهما يريان أشياء مختلفة في بعض المناطق، ويريانها في علاقات مختلفة فيما بينها. وذلك يشرح لماذا يبدو القانون الذي لا يمكن إثباته عند مجموعة من العلماء واضحاً وضوحاً حدسياً للمجموعة الأخرى أحياناً. ويشرح أيضاً لماذا يجب على المجموعة الواحدة أو الأخرى أن تختبر التحول الذي دعوناه انتقال البراديغم، قبل أن تستطيع أن تأمل بالاتصالات الكاملة. ولأن الانتقال هو فقط ما بين ظواهر غير ممكن مقارنتها، فإن الانتقال ما بين البراديغمات المتنافسة لا يمكن إجراؤه خطوة خطوة في فترات زمنية، وبقوة المنطق، والتجربة الحيادية. فهو مثل النقلة الجشطالتية، لا بد أن يحدث دفعة واحدة (وليس من الضروري أن يحدث في لحظة واحدة)، أو لا يكون.

إذن، كيف يصنع العلماء هذا الانتقال من موضع إلى موضع؟ بعض الجواب أنهم غالباً لا يقومون بذلك. فالمذهب الكوبرنيكي صنع تحويلات قليلة لمدة تقارب القرن بعد وفاة كوبرنيكوس. وعمل نيوتن لم يكن مقبولاً بشكل عام، وبخاصة في القارة الأوروبية، [151] لأكثر من نصف قرن بعد ظهور كتابه: **المبادئ**(6). ولم يقبل بريستلي بنظرية الأوكسجين ولا وافق اللورد كلفن (Lord Kelvin) على النظرية

---

(6) انظر: I. Bernard Cohen, *Franklin and Newton; an Inquiry into Speculative Newtonian Experimental Science and Franklin's Work in Electricity as an Example Thereof*, Memoirs of the American Philosophical Society; v. 43 (Philadelphia: [American Philosophical Society], 1956), pp. 93-94.

الكهربائية المغناطيسية، وهكذا. ولطالما لوحظت صعوبات التحول من قبل العلماء أنفسهم. وقد كتب داروين قائلاً بوعي نفّاذٍ في مقطع في نهاية كتابه **أصل الأنواع** (*Origin of Species*): «وبالرغم من أني مقتنع اقتناعاً كاملاً بصحة النظرات المعطاة في هذا المجلد...، إلا أنني لا أتوقع، بأي شكل، أن أقنع الطبيعيين ذوي الخبرة الذين تخزنت في عقولهم كثرة من الحقائق نُظِرَ إليها كلها، ولمدى سنين طويلة، من منظور مضاد مباشرةً لمنظوري... ولكني بثقة أنظر إلى المستقبل - إلى طبيعيين شبان وطالعين، يكونون قادرين على النظر إلى وجهي المسألة نظرة خالية من الانحياز»(7). كما لاحظ ماكس بلانك (Max Planck) بحزنٍ، وهو يلقي نظرة عامة على حياته الخاصة في كتابه **سيرة ذاتية علمية** (*Scientific Autobiography*)، قائلاً: «لا تفوز حقيقة علمية جديدة عن طريق إقناعها خصومها وجعلهم يرون النور، بل لأن خصومها سينتهون بالموت، وأن جيلاً جديداً سوف يترعرع ويألفها»(8).

هذه الوقائع وما يقارنها هي من الشيوع الواسع بحيث إنها لا تحتاج إلى مزيد من التأكيد. لكنها تحتاج إلى إعادة تقييم. وهي غالباً ما كانت تؤخذ في الماضي على أنها تدل على أن العلماء، ولكونهم بشراً ليس أكثر، لا يقدرون دائماً على الإقرار بأخطائهم، حتى عندما يُجابَهون ببرهان حاسم. وإني أودُّ أن أناقش أن الموضوع، في هذه

---

(7) انظر: Charles Darwin, *On the Origin of Species by Means of Natural Selection; or The Preservation of Favored Races in the Struggle for Life*, Authorized Edition from 6th English ed. (New York: [n. pb.], 1889), part II, pp. 295-296.

(8) انظر: Max Planck, *Scientific Autobiography, and Other Papers*, with a Memorial Address on Max Planck, by Max von Laue; Translated from German by Frank Gaynor (New York: [Greenwood Press], 1949), pp. 33-34.

المسائل، ليس موضوع برهان ولا موضوع خطأ. إن انتقال الولاء من براديغم إلى آخر هو خبرة تحوّلٍ لا يمكن فرضها. وإن المقاومة على مدى العمر وبخاصة، المقاومة من هؤلاء الذين التزمت حياتهم المنتجة بتقليد علم عادي أقدم. ليست خرقاً للمعايير العلمية، وإنما هي مؤشر إلى طبيعة البحث العلمي بحّد ذاته، وإن مصدر المقاومة هو في الاطمئنان الواثق بأن البراديغم الأقدم سوف يحل مشكلاته كلها، في النهاية، وأن الطبيعة يمكن إقحامها في الصندوق الذي [152] يوفره البراديغم. ولا مفرَّ من أن يبدو هذا الاطمئنان الواثق، في زمن الثورة، عنيداً ومتعصِّباً كما يحصل أحياناً. ولكنه شيء أكثر من ذلك أيضاً. إن ذلك الاطمئنان ذاته هو الذي يجعل العلم العادي أو العلم الحالّ للأحجيات ممكناً. ولا تنجح جماعة العلماء المحترفين إلا من خلال العلم العادي، أولاً، في استغلال المدى والدقة الممكنين للبراديغم الأقدم، ثم في عزل الصعوبة التي من خلال درسها يمكن أن يظهر براديغم جديد.

وما بقي هو أن القول بأن المقاومة لا مفرّ منها ومشروعة، وأن تغير البراديغم لا يمكن تبريره بالبرهان، لا يعني القول بأنه لا يوجد حجج ذات صلة، أن العلماء لا يمكن إقناعهم لكي يغيروا أفكارهم. ومع أنه لا بد من جيل، أحياناً، لإحداث التغيير، فإن المتَّحدات العلمية تتحول تكراراً إلى براديغمات جديدة. علاوة على ذلك، فإن هذه التحولات لا تحدث بالرغم من حقيقة كون العلماء بشراً، بل لأنهم كذلك. ومع أن بعض العلماء، وبخاصة المتقدمون بالسن منهم والأكثر خبرة، يمكن أن يقاوموا مقاومة بلا حدود، إلا أنه يمكن الوصول إلى معظمهم بطريقة أو بأخرى. وتحدث التحولات بعدد قليل في كل مرة، إلى أن تأتي المنية على آخر المتشبثين المقاومين، وبعد ذلك تُمارَسُ المهنة كلها من جديد في ظل براديغم واحد

وحيد، لكنه مختلف الآن. لذا، علينا أن نسأل كيف يُحدُ التحول وكيف يُقاوَم.

فأي نوع من الجواب لذلك السؤال يمكننا أن نتوقع؟ ولمجرد أن هذا السؤال هو عن تقنيات الإقناع أو عن الحجة والحجة المضادة في موقف خالٍ من البرهان، فهو سؤال جديد ويتطلّب نوعاً من الدرس لم ينجز مثله من قبل. وعلينا أن نقبل بنظرة جزئية وانطباعية جداً. ويضاف إلى ذلك أن ما قيل سابقاً يتآلف مع نتيجة تلك النظرة لاقتراح فكرة أن السؤال عن طبيعة الحجة العلمية ليس له جواب وحيد أو منظم، وذلك عندما يكون السؤال عن الإقناع، وليس عن البرهان. فالعلماء الأفراد يقبلون براديغمَ جديداً لمبررات من كل الأنواع، والعادة هي أن يقبلوا وجود عدد منها فوراً ـ فعلى سبيل المثال، عبادة الشمس التي ساعدت على جعل كبلر من أتباع كوبرنيكوس ـ خارج الدائرة العلمية الواضحة، بالكامل[9]. وهناك [153] مبررات أخرى لا بد لها أن تستند إلى المزاج، والسيرة الذاتية، والشخصية. حتى قومية المجدِّد أو شهرته السابقة ومعلموه يمكن أن تؤدي أحياناً دوراً مهماً[10]. لذا، علينا في النهاية أن نطرح هذا

---

(9) للاطلاع على دور عبادة الشمس في فكر كبلر، انظر: Edwin Arthur Burtt, *The Metaphysical Foundations of Modern Physical Science: A Historical and Critical Essay*, 2nd ed. rev Edition (New York: [Humanities Press], 1932), pp. 44-49.

(10) وللإطلاع على دور الشهرة، فكر بما يلي: قدم اللورد رايلي (Lord Rayleigh)، وبعد أن تأسست شهرته، بحثاً يتعلق ببعض المفارقات في الديناميكا الكهربائية، إلى الجمعية البريطانية. والذي حصل هو أن اسمه شطب عن طريق إهمال غير متعمد، عندما أرسل البحث في المرة الأولى، كما رفض البحث ذاته، في المرة الأولى، لأنه عمل يختص ببعض «المفارقات». ولكن الذي حدث بعد ذلك بقليل، وبعد معرفة إسم صاحب البحث، أن البحث قبل مع اعتذارات كثيرة. انظر: Robert John Strutt Rayleigh, *John William Strutt, Third Baron Rayleigh* (New York: Longmans, Green and co.; London: E. Arnold and co., 1924), p. 228.

السؤال بطريقة مختلفة. فما يهمنا، إذاً، ليس الحجج التي تحوّل فعلياً فرداً أو آخر، بل نوع المتَّحد الذي يتشكل من جديد على صورة مجموعة واحدة. غير أني سوف أؤجل تلك المشكلة إلى الفصل الأخير لأفحص في الوقت الحاضر بعض أنواع الحجج الذي أثبت فعاليته الخاصة في معارك تغيير البراديغم.

من المحتمل أن يكون الرأي الوحيد والأكثر شيوعاً والمقدم من المنافحين عن براديغم جديد هو أنهم يستطيعون حل المشكلات التي قادت البراديغم القديم إلى أزمة. وهذا الرأي، إذا أمكن وضعه بطريقة مشروعة، غالباً ما يكون الأكثر فعالية. والمنطقة التي ينطبق عليها هذا الرأي هي تلك التي يكون البراديغم فيها في حالة من الاضطراب. وقد تمَّ الكشف عن هذا الاضطراب تكراراً، وأخفقت محاولات الخلاص منه مرة بعد أخرى. وإن «التجارب الحاسمة» ـ أي تلك القادرة على الفصل الدقيق بين البراديغمين ـ كانت قد عُرِفَتْ وجُرِّبَتْ قبل اختراع البراديغم الجديد. وهكذا رأى كوبرنيكوس أنه قد حلّ المشكلة المزعجة والطويلة العمر المتعلقة بطول سنة الروزنامة، ورأى نيوتن أنه قد وفّق بين الميكانيكا الأرضية والميكانيكا السماوية، كما رأى لافوازييه أنه قد حلَّ مشكلات هوية الغاز وعلاقات الوزن، ورأى إينشتاين أنه جعل الديناميكا الكهربائية على انسجام منطقي مع صورة منقحة لعلم الحركة.

إن نجاح ادعاءات من هذا النوع محتمل حصوله إذا عرض البراديغم الجديد دقةً كميةً أفضل، وبشكل بارز، من منافسه الأقدم [154] منه. وإن التفوق الكمّي لجداول كبلر الرودولفينية (Kepler's Rudolphines) على تلك المحسوبة استناداً إلى نظرية بطليموس كان عاملاً أساسياً في تحويل الفلكيين إلى المذهب الكوبرنيكي. وكذلك كان نجاح نيوتن في التنبؤ بالمشاهدات الفلكية الكمّية السبب الوحيد

الأكثر أهمية في انتصار نظريته على النظريات المنافسة لها، التي كانت أكثر معقولية، لكنها كانت وصفية بحتة. وفي هذا القرن تمكن قانون الإشعاع لبلانك (Planck) وذرّة بور (Bohr) بسرعة من إقناع العديدَ من الفيزيائيين لتبنيهما، بالرغم من أن هذين الإسهامين عملا على زيادة المشكلات أكثر من حلها، هذا إذا نُظِرَ إلى العلم الفيزيائي ككل(11).

ولكن، نادراً ما يكفي الادعاء المعتمد على القدرة على حل المشكلات المثيرة للأزمات بحّد ذاته. كما لا يمكن وضعه بمشروعية دائماً. والواقع أن نظرية كوبرنيكوس ليست أكثر دقة من نظرية بطليموس، ولا هي أدت مباشرة إلى أي تحسين في التقويم الزمني. ولم تكن نظرية الضوء الموجيّة أيضاً، ولبضع سنين بعد إعلانها لأول مرة، ناجحة مثل نجاح منافستها النظرية الجسيمية في حل مشكلة الآثار الاستقطابية التي كانت السبب الرئيس لأزمة علم البصريات. وأحياناً، يحصل أن تنتج الممارسة الخاسرة التي تميز البحث غير المنتظم مرشحاً لمرتبة براديغم لم يساعد إطلاقاً، في البداية، بحل المشكلات التي أثارت الأزمة. وعندما يحصل ذلك، يجب تناول الدليل من أقسام الحقل العلمي الأخرى، كما يجري الأمر غالباً. وفي تلك المناطق الأخرى، يمكن تطوير حجج مقنعة إذا سمح البراديغم الجديد بتنبؤ ظواهر لم يتم التفكير فيها أبداً عندما كان البراديغم القديم هو السائد.

فعلى سبيل المثال، رأت نظرية كوبرنيكوس (Copernicus'

(11) للاطلاع على المشكلات التي أوجدتها نظرية الكمّ، انظر: Fritz Reiche, *The Quantum Theory*, Trans. by H. S. Hatfield and Henry L. Brose (London: [Methuen and Co.], 1922), chaps. ii and vi-ix.

وللإطلاع على أمثلة أخرى في هذه الفقرة، انظر المراجع السابقة في هذا القسم.

Theory) أن الكواكب يجب أن تكون كالأرض، وأن كوكب الزهرة يجب أن يعرض أطواراً، وأن العالم يجب أن يكون أكبر بكثير مما افترض سابقاً. وعندما عرض التلسكوب بصورة فجائية، بعد ستين عاماً من وفاته، مشهد جبال على القمر، وأوجه الزهرة، وعدداً هائلاً من النجوم التي لم تخطر على بال في الماضي، [155] كانت النتيجة أن تلك المشاهدات حولت إلى النظرية عدداً كبيراً، وبخاصة من غير الفلكيين(12). وفي حالة النظرية الموجيّة كان مصدر أساسي من مصادر التحولات المهنية أكثر درامية. فقد انهارت المقاومة الفرنسية بصورة مفاجئة وكاملة نسبياً عندما تمكن فرزنل (Fresnel) من البرهان على وجود بقعة بيضاء في مركز ظل قرص دائري. وتلك كانت نتيجة لم يكن يتوقعها، ولكن بواسون (Poisson)، الذي كان أحد خصومه في البداية، بيّن أنها نتيجة ضرورية، وإن كانت غير معقولة من نتائج نظرية فرزنل(13). وقد أثبت مثل هذا النوع من الحجج أنه مقنع، وذلك بسبب قيمة الصدمة التي تولّدها، ولأنها لم تكن «موجودة» بوضوح في النظرية الجديدة منذ البداية. وأحياناً يمكن استغلال تلك القوة الزائدة حتى ولو كانت الظاهرة قيد الدرس قد شوهدت منذ زمن طويل قبل أول تقديم للنظرية التي تشرحها. فعلى سبيل المثال لم يتوقع إينشتاين أن النظرية النسبية العامة ستشرح بدقة ظاهرة التباين المعروفة جيداً في حركة نقطة الأوج لكوكب عطارد، وقد أحرز

---

(12) انظر: Kuhn, *The Copernican Revolution; Planetary Astronomy in the Development of Western Thought*, pp. 219-225.

(13) انظر: Edmund Taylor Whittaker, *A History of the Theories of Aether and Electricity*, 2 vols., Rev. and enl. ed. (London; New York: [T. Nelson, 1951-1953]), vol. 1: *The Classical Theories*, p. 108.

نصراً متطابقاً ذا علاقة بذلك عندما ثبت ذلك(14).

لقد بُنيت الحجج المدافعة عن البراديغم الجديد كلها، التي نوقشت حتى الآن، على أساس قدرة منافسيه من النظريات الأخرى على حل المشكلات. وتلك الحجج هي، بالنسبة إلى العلماء أكثر الحجج أهمية وإقناعاً. ولا تَدَع الأمثلة السابقة مجالاً للشك بمصدر جاذبيتها الهائلة. ولكنها لا تملك القوة على فرض نفسها، فرادى أو كمجموعة، وذلك لأسباب سنعود إليها بعد قليل. ولحسن الحظ، هناك نوع آخر من التفكير يمكن أن يقود العلماء إلى رفض براديغم قديم لمصلحة براديغم جديد. وهذه الحجج، التي قلّما توضح بصورة كاملة، هي تلك التي تتوجه إلى حس الفرد بما هو مناسب أو حسه الجمالي ـ كأن يُقال بأن النظرية الجديدة «أكثر ترتيباً»، أو «هي مناسبة أكثر»، أو «أكثر بساطة» من النظرية القديمة. ومن المحتمل أن [156] يكون مثل هذه الحجج أقل فعالية في العلوم منها في الرياضيات. والنسخ الأولى لمعظم البراديغمات الجديدة تكون غير مصقولة. وحينما يصبح بالإمكان تطوير جاذبيتها الجمالية، يكون معظم المتَّحد العلمي قد تمَّ إقناعه بوسائل أخرى. ومع ذلك، فإن أهمية الاعتبارات الجمالية يمكن أن تكون حاسمة أحياناً. وبالرغم من أنها لا تجتذب غالباً إلا عدداً قليلاً من العلماء إلى نظرية جديدة، فإن الفوز الأخير لهذه النظرية يمكن أن يعتمد على هؤلاء القلة. ولو لم تقبل بسرعة

(14) للاطلاع على تطور نظرية النسبية العامة، انظر: Ibid., vol. 2: *The Modern Theories, 1900-1926*, pp. 151-180.

وللإطلاع على رد فعل إينشتاين على مسألة الاتفاق الدقيق ما بين النظرية وحركة قاع الكوكب عطارد المشاهدة، انظر الرسالة المنشورة في: Paul Arthur Schilpp, ed., *Albert Einstein, Philosopher-Scientist*, Library of Living Philosophers; v. 7 (Evanston, Ill.: [Library of Living Philosophers], 1949), p. 101.

لأسباب فردية كبيرة، لما أمكن تطوير النظرية المرشحة لأن تصبح براديغمَ تطويراً كافياً لجذب ولاء المتَّحد العلمي ككل.

ولكي نتبين سبب أهمية هذه الاعتبارات الذاتية والجمالية، يجب أن نتذكر الجدل الذي يدور حول البراديغم. فعندما يُقتَرح البراديغم الجديد المرشح في البداية، فإنه عندئذ قلّما يكون قد حل عدداً قليلاً من المشكلات التي واجهته، ويكون معظم تلك المشكلات لا يزال أبعد ما يكون عن الكمال. فنظرية كوبرنيكوس التي لم تقدر أن تجري تحسيناً على تنبؤات مواضع الكواكب التي ذكرها بطليموس إلا نادراً، انتظرت مجيء كبلر. وعندما اعتبر لافوازييه الأوكسجين بأنه «الهواء برمّته» عجزت نظريته عن معالجة كل مشكلات تكاثر الغازات الجديدة بنجاح، وكانت هذه هي المسألة التي نجح فيها بريستلي نجاحاً عظيماً في هجومه المضاد. إن حالات كحالة البقعة البيضاء عند فرزنل هي حالات نادرة جداً. والعادة هي أنه بعد انقضاء وقت طويل فقط، وبعد أن يكون تم تطوير البراديغم، وقبوله، واستعماله، تتطور الحجج الحاسمة الواضحة - مثل نوّاس فوكو للبرهان على دوران الأرض أو تجربة فيزو (Fizeau) لتبيان أن الضوء أسرع في الهواء منه في الماء. وإن إنتاج تلك الحجج جزء من العلم العادي، وليس لها دور في الجدل حول البراديغم، وإنما في كتب التدريس الصادرة بعد الثورة.

وقبل كتابة نصوص تلك الكتب، وفي غمرة الجدل، يكون الموقف مختلفاً جداً. وفي العادة يمكن خصوم البراديغم الجديد أن يزعموا زعماً مشروعاً أن هذا البراديغم لا يفوق منافسه التقليدي إلا قليلاً، حتى في مجال الأزمة. وطبعاً يعالج البراديغم الجديد بعض المشكلات معالجة أفضل، ويكشف عن بعض ظواهر نظام جديدة. ولكن البراديغم الأقدم يمكن إعادة صياغته لمواجهة هذه التحديات،

كما واجه تحديات أخرى من قبل. فالنظام الفلكي الذي مركزه الأرض الذي وضعه تايكو براهه (Tycho Brahe)، والنسخ الأخيرة [157] من نظرية الفلوجستون، كانا استجابتين لتحديات عرضها مرشح براديغميٌّ جديد، وكلاهما كانا ناجحين[15]. يضاف إلى ذلك أن المنافحين عن النظرية والإجراءات التقليدية يمكنهم، دائماً، أن يشيروا إلى مشكلات لم يحلها منافسه الجديد، وهي ومن وجهة نظرهم ليست مشكلات البتّة. فقد كان احتراق الهيدروجين حجة قوية لمصلحة نظرية الفلوجستون وضد نظرية لافوازييه حتى اكتشاف تركيب الماء. وبعد أن تمَّ النصر لنظرية الأوكسجين، لم تستطع هذه النظرية أن تشرح ظاهرة تحضير غاز قابل للاحتراق من الكربون، وهي الظاهرة التي كان قد أشار إليها أنصار نظرية الفلوجستون بأنها سند قوي لوجهة نظرهم[16]. وحتى في نطاق الأزمة، يكون التوازن ما بين الحجة والحجة المضادة قريباً جداً. وخارج ذلك النطاق، فإن كفة الميزان غالباً ما تكون لمصلحة التقليد بشكل حاسم. لقد حطم كوبرنيكوس شرحاً للحركة الأرضية كان مجمَّداً في الزمان، من دون

---

(15) للاطلاع على نظام براهه، الفلكي، الذي كان معادلاً معادلة كلية لنظام كوبرنيكوس، الفلكي، من الناحية الهندسية، انظر: John Louis Emil Dreyer, *A History of Astronomy from Thales to Kepler, Formerly Titled History of the Planetary Systems from Thales to Kepler*, Rev. with a Foreword by W. H. Stahl, 2nd ed. (New York: [Dover Publications], 1953), pp. 359-371.

وللإطلاع على النسخ الأخيرة لنظرية الفلوجستون ونجاحها، انظر: James Riddick Partington and D. McKie, «Historical Studies of the Phlogiston Theory, IV: Last Phases of the Theory,» *Annals of Science*, vol. 4 (1939), pp. 113-149

(16) وللإطلاع على المشكلة التي قدمها الهيدروجين، انظر: James Riddick Partington, *A Short History of Chemistry*, 2nd ed. (London: [n. pb.], 1951), p. 134.

للاطلاع على أوكسيد الكربون الأحادي، انظر: Hermann Kopp, *Geschichte der chemie*, 4 vols. (Braunschweig: [F. Vieweg und sohn], 1843-1847), vol. 3, pp. 294-296.

أن يستبدله، وفعل نيوتن الشيء ذاته بالنسبة إلى شرح للجاذبية أقدم، ولافوازييه بالنسبة إلى الصفات العامة للمعادن، وهكذا. وباختصار، إذا كان سيحكم على البراديغم المرشح منذ البداية من قبل ذوي الرؤوس العنيدة الذين لم يفحصوا سوى قدرته النسبية على حل المشكلات، فإن العلوم ستتعرض لثورات كبرى قليلة جداً. فإذا أضفت الحجج المضادة المتولدة مما دعوناه سابقاً عدم إمكان مقارنة البراديغمات، فلن تتعرض العلوم لثورات على الإطلاق.

غير أن حوادث الجدل البراديغمي ليست في الحقيقة حول القدرة النسبية على حل المشكلات، بالرغم من أنها، ولأسباب وجيهة، تصاغ بتلك المفردات. فالمسألة، بدلاً من ذلك، هي مسألة أي براديغم يجب أن يكون دليل البحث في المستقبل في مشكلات لا يستطيع أي من المتنافسين أن يزعم أنه حلها حلاً كاملاً. فالحال يستدعي قراراً يتعلق بطريقة من بين الخيارات البديلة التي يمارس العلم بموجبها، ولا بد لذلك القرار وفي ظروفه، أن يكون مبنياً [158] بدرجة أقل على إنجازات الماضي مما هو مبنى على وعد المستقبل. والذي يحتضن براديغماً جديداً في مرحلة مبكرة عليه أن يفعل ذلك متحدياً الدليل الذي توفره مسألة حل المشكلات. ولا بد أن يكون ذا إيمان بأن البراديغم الجديد سينجح في معالجة المشكلات الكبيرة العديدة التي تواجهه، غير عارف إلا بأن البراديغم الأقدم قد فشل في حل القليل منها. وإن قراراً من ذلك النوع لا يمكن اتخاذه إلا على أساس الإيمان.

ذلك أحد الأسباب الذي يشرح لماذا كان للأزمة السابقة لظهور البراديغم مثل تلك الأهمية. والعلماء الذين لم يختبروا الأزمة نادراً ما يرفضون الدليل الصعب لحل المشكلات لكي يتبعوا ما يثبت أنه سراب، الذي يعتبر كذلك بصورة واسعة. ولكن الأزمة لا تكفي

وحدها. فلا بد من وجود أساس للإيمان بالبراديغم المرشح الذي اختير، ولو لم يكن عقلياً أو صحيحاً في النهاية. لا بد من وجود شيء يجعل نفراً قليلاً من العلماء على الأقل، يشعر بأن الاقتراح الجديد صحيح، ولا يقدر على إحداث ذلك أحياناً إلا الاعتبارات الشخصية والجمالية غير المصاغة صياغة واضحة. وهناك أوقات حولت فيها تلك الاعتبارات الأشخاص عندما كان معظم الحجج التقنية الممكن صياغتها يشير إلى جهة أخرى. فعندما قدمت نظرية كوبرنيكوس الفلكية أو نظرية دي بروغلي (De Broglie) في المادة لم يكن لأي منهما الكثير من الأسس الأخرى القادرة على الاجتذاب. وحتى نظرية إينشتاين العامة فإنها تجتذب الناس اليوم على أساس جماليتها بصورة رئيسة، وهي الجاذبية التي لم يشعر بها إلا عدد قليل من الأفراد من خارج دائرة الرياضيات.

وهذا لا يوحي بأن البراديغمات الجديدة تفوز، في الأخير، بفضل جمالية صوفية. فعلى العكس تماماً، قليل من أولئك الذين يهجرون تقليداً لهذه الأسباب وحدها. والذين يفعلون ذلك ينتهون بأنهم كانوا مضلَّلين. ولكي يكون للبراديغم أي حظ بالفوز، لا بد له من بعض المؤيدين في أول الأمر، الذي سيطوّره إلى نقطة يمكن عندها إنتاج حجج قوية، والإكثار منها. وحتى تلك الحجج، إذا ما ظهرت، لا تكون حاسمة بشكل إفرادي. ولأن العلماء عقلاء، فإن حجة ما أو أخرى سوف تقنع العديد منهم، في نهاية المطاف. فليس الأمر تحول مجموعة بمفردها، بل إن ما يحدث هو تغيير متزايد في توزيع الولاءات المهنية.

[159] في البداية يمكن أن يكون للبراديغم المرشح عدد قليل من الداعمين، وأحياناً يمكن أن تكون دوافع الداعمين شكّاً. ومع ذلك، إذا كان هؤلاء قادرين، فإنهم سوف يحسنونه، ويكشفون عن

إمكانياته، ويبينون ما يعني للمتَّحد العلمي الذي سيهتدي به. وإذا استمر ذلك الحال، وكان البراديغم من النوع المقدَّر له أن ينتصر في معركته، فإن الحجج المقنعة وقوتها، التي هي في مصلحته، سوف يزداد عددها. وعندئذ سيتحول إليه علماء أكثر عدداً، ويستمر الكشف عن البراديغم الجديد. وشيئاً فشيئاً، سوف يتكاثر عدد التجارب، والأدوات، والمقالات، والكتب المبنية على البراديغم. وسيتبنى أشخاص آخرون أيضاً، ممن اقتنعوا بخصب النظرة الجديدة، والنمط الجديد في ممارسة العلم العادي، حتى لا يبقى في الأخير سوى عدد قليل من المقاومين من كبار السن. ولكن حتى هؤلاء لا يمكننا وصفهم بالمخطئين. ومع أن المؤرخ يمكنه أن يجد دائماً أشخاصاً ـ مثل بريستلي ـ كانوا غير معقولين في مقاومتهم لمدة طويلة كما فعلوا، فإنه لن يجد نقطة تصبح فيها المقاومة غير منطقية وغير علمية. وأقصى ما يمكنه هو الرغبة في القول إن الرجل الذي لم يتوقف عن المقاومة بعد أن تحولت مهنته كلها، قد توقّف في الواقع عن أن يكون عالماً.

XIII

التقدم عبر الثورات

نقلت الصفحات السابقة وصفي التخطيطي للتطور العلمي إلى أبعد مدى يمكن أن يصل إليه في هذه المحاولة. ومع ذلك لم يمكنها أن تؤدي إلى نتيجة. وإذا كان هذا الوصف قد أمسك بالبنية الجوهرية للتطور المستمر للعلم، فإنه، وفي الوقت نفسه، يكون قد طرح مسألة خاصة، وهي: لماذا يتقدّم المشروع الذي تمَّ تخطيطه أعلاه بثبات بعدة طرقٍ، ولا يحصل تقدم مثلاً في الفن أو النظرية السياسية أو الفلسفة؟ لماذا يُعدّ التقدم امتيازاً محفوظاً فقط للنشاطات التي ندعوها علماً؟ أما الأجوبة العادية عن هذا السؤال فقد أغفلت في صلب هذه المحاولة. لذا، يجب أن نختمها بالسؤال عمّا إذا كان وجود أجوبة بديلة ممكناً.

لاحظْ، وبصورة مباشرة، أن جزءاً من السؤال دلالي لغوي بأكمله. فمصطلح «علم»، مخصص لدرجة كبيرة إلى الحقول التي تتقدم فعلياً بطرق واضحة. ولا يتجلى هذا بوضوح أكثر من تجليه في المجادلات الجارية حول ما إذا كان علم واحد من العلوم الاجتماعية المعاصرة أو آخر هو علم حقاً. وقد كان لهذه المجادلات ما يوازيها

في الفترات الزمنية السابقة للبراديغم في حقول تُدْعى اليوم، ومن دون تردد، علوماً. فموضوع المجادلات الظاهر كان دائماً تعريف ذلك المصطلح المقلق. فعلى سبيل المثال، يقول الناس في مناقشاتهم إن علم النفس هو علم لأنه يحوز على كذا وكذا من الخصائص. وآخرون يعارضون قائلين إن تلك الخصائص هي إما غير ضرورية أو غير كافية لجعل حقل من الحقول علماً. وغالباً ما تستثمر طاقة كبيرة، وتثار عاطفة عظيمة، ومن هو خارج عن ذلك ضائع لا يعرف السبب. فهل يتوقف الكثير على تعريف للعلم؟ وهل يمكن تعريفاً أن يخبر إنساناً أنه عالم أو ليس بعالم؟ وإذا كان الأمر كذلك، فلماذا لا يشغل تعريف المصطلح بال علماء الطبيعة أو الفنانين؟ فلا محالة من أن يفكر المرء بأن الموضوع جوهري أكثر مما يبدو. ومن المحتمل أن تكون أسئلة مثل التي ستلي قد طرحت: لماذا أخفق حقلي العلمي في التقدم على غرار تقدم علم الفيزياء، مثلاً؟ وأي تغييرات في التقنية أو المنهج أو الأيديولوجيا تمكّنه من أن يتقدم؟ فمثل هذه الأسئلة لا يستجيب لاتفاق على تعريف. ثم، إذا كانت سابقة العلوم الطبيعية [161] ذات نفع، فإنها ستكف عن أن تكون مصدر قلق، ولا يكون ذلك لأن تعريفاً قد وجد، وإنما عندما تحقق المجموعات التي ترتاب الآن بوضعيتها الخاصة إجماعاً يتعلق بإنجازاتها الماضية والحاضرة. فمثلاً، قد يكون أمراً مهماً معرفة أن الاقتصاديين هم، في مسألة ما إذا حقلهم علماً، أقل جدالاً، من الممارسين في بعض الحقول الأخرى من العلم الاجتماعي. فهل مردُ ذلك هو لأن الاقتصاديين يعرفون معنى العلم؟ أو أن اتفاقهم هو حول الاقتصاد؟

ولتلك النقطة عكسها، وهو يمكنه، وإن لم يعد دلالياً لغوياً، أن يساعد في عرض الروابط التي لا تنفصم بين أفكارنا عن العلم والتقدم. لقد اعتبر الفن التشكيلي **ألـ** نظام التراكمي لقرون عديدة في

ماضي أوروبا، وفي أوائل تاريخها الحديث أيضاً. وخلال تلك السنين كان هدف الفنان المفترض هو التمثيل. وقد سجّل، وقتئذ، نقاد ومؤرخون مثل بليني (Pliny) وفاسارو (Vasaro)، وباحترام، سلسلةً من المبتكرات ابتداءً من تقصير الخطوط إلى استعمال الضوء والظل الأسود مما أمكن من تمثيل الطبيعة تمثيلاً أكمل، على التوالي[1]. ولكن تلك السنين كانت أيضاً سنين الانقسام الطفيف الذي حدث بين العلوم والفنون، وبخاصة خلال عصر النهضة. ولم يكن ليوناردو (Leonardo) إلا واحداً من كثيرين ممن تنقلّوا بحرية بين حقول لم تُمَيَّز من بعضها تمييزاً قاطعاً إلا في ما بعد[2]. وحتى بعد توقف ذلك التبادل الثابت، فإن مصطلح «فن» استمر تطبيقه على التكنولوجيا والحرف اليدوية، التي اعتبرت متقدمة، بمقدار تطبيقه على الفن التشكيلي والنحت. ولم يتخذ الانقسام فعلياً صورته العميقة الحالية إلا عندما تخلّى الفن التشكيلي والنحت بشكل واضح عن هدف التمثيل، وبدءا أيضاً التعلم من الأشكال البدائية. وحتى في أيامنا، فإن جزءاً من صعوبتنا في رؤية الفروق العميقة بين العلم والتكنولوجيا لا بد أن يكون ذا علاقة بحقيقة كون التقدم صفة واضحة للحقلين.

[162] وعلى كل حال، يمكن توضيح صعوبتنا الراهنة، وليس حلّها، عن طرق الإدراك بأننا نميل إلى رؤية أي حقل يحصل فيه تقدم على

---

(1) انظر: Ernst Hans Gombrich, *Art and Illusion; a Study in the Psychology of Pictorial Representation*, Bollingen Series; 35. A. W. Mellon Lectures in the Fine Arts; 5 (New York: [Pantheon Books], 1960), pp. 11-12.

(2) انظر: المصدر نفسه، ص 97، و Giorgio de Santillana, «The Role of Art in the Scientific Renaissance,» in: Marshall Clagett, ed., *Critical Problems in the History of Science; Proceedings* (Madison: University of Wisconsin Press, 1959), pp. 33-65.

أنه علم. لكن تظل أمامنا مشكلة فهم لماذا يجب أن يكون التقدم خاصية جديرة بالملاحظة للمشروع الذي وصفته هذه المحاولة بتقنيته وأهدافه. وقد برهن ذلك السؤال على أنه عدة أسئلة، وعلينا أن ننظر في كل واحد منها على حدة. وفي الحالات كلها، باستثناء الحالة الأخيرة، سيعتمد الحلّ اعتماداً جزئياً على عكس نظرتنا العادية المتعلقة بالعلاقة بين النشاط العلمي والمتَّحد الذي يمارسه. وعلينا أن نتعلم أن ما اعتبر، في العادة، نتائج هو أسباب. وإذا تمكنّا من فعل ذلك، فإن عبارة «تقدم علمي» وحتى عبارة «موضوعية علمية» سيبدوان من نافل القول جزئياً. والواقع أنه تمَّ توضيح أحد وجوه الحَشْوِ قبل قليل. فهل يتقدم الحقل لأنه علم، أو هو علم لأنه يتقدم؟

فلنتساءل الآن لماذا يجب على مشروع مثل العلم العادي أن يتقدم، ولنبدأ بتذكّر عددٍ قليلٍ من أبرز خصائصه. لقد جرت العادة أن يعمل أعضاء متَّحد علمي ناضج من منطلق براديغم وحيد أو من مجموعة ذات ترابط وثيق. وقلّما تتفحص المتحدات العلمية المختلفة المشكلات ذاتها. وفي تلك الحالات الاستثنائية تشترك المجموعات بعدة براديغمات كبرى. غير أنه إذا ما نظر من داخل أي متَّحد واحد، سواء أكانت مؤلفة من علماء أم من غيرهم، فإن نتيجة العمل المبدع الناجح هي التقدم. فكيف يمكنها أن تكون خلاف ذلك؟ وعلى سبيل المثال، لقد سبق لنا أن لاحظنا أنه بينما كان التمثيل هدفاً للفنانين، فإن كلاًّ من النقاد والمؤرخين قد أرّخو تقدم المجموعة المتحدة ظاهرياً. وهناك حقول إبداع أخرى عرضت تقدماً من النوع ذاته. فاللاهوتي الذي يوضِّح عقيدة أو الفيلسوف الذي يحسِّن الأوامر الأخلاقية الكانطية (Kantian) يسهم في التقدم، ولو للمجموعة التي تشارك في مقدماته، على الأقل. فلا وجود لمدرسة مبدعة تدرك من

جهة أن صنفاً من العمل هو نجاح مبدع ولكنه من جهة ثانية ليس إضافة إلى الإنجاز الجماعي للمجموعة. وإذا كنا نشك، كما يفعل كثيرون، في أن الحقول غير العلمية تتقدم، فليس سبب ذلك ماثل في أن المدارس الفردية لم تتقدم. بل يجب أن يكون السبب في الوجود الدائم لمدارس متنافسة وكل واحدة منها تشكِّك بلا انقطاع [163] بأسس المدارس الأخرى. ومن يناقش قائلاً إن الفلسفة، على سبيل المثال، لم تحقق تقدماً، يؤكد أنه لا يزال هناك أرسطيون أتباع للفيلسوف أرسطو، لا على أن الفلسفة الأرسطية قد فشلت في أن تتقدم.

إن هذه الشكوك بالتقدم تنشأ أيضاً في العلوم. فخلال الفترة الزمنية السابقة للبراديغم، وعندما كان هناك العديد من المدارس المتنافسة، كان من العسير جداً إيجاد دليل على التقدم، ما خلا داخل المدارس. وهذه هي الفترة التي وُصِفتْ في الفصل الثاني بأنها الفترة التي مارس فيها الأفراد العلم، ولكن نتائج مشروعهم لم تتجمع لتصير علماً بالمعنى الذي نعرفه. ومجدداً، فخلال فترات الثورة، وعندما تكون معتقدات حقل من الحقول هي موضوع المناقشة من جديد، فإن الشكوك تظهر حول إمكانية استمرار التقدم إذا ما تمَّ تبني براديغم أو آخر من البراديغمات المتضادة. فهؤلاء الذين رفضوا مذهب نيوتن أعلنوا أن اعتماده على القوى الداخلية في الأشياء سيعيد العلم إلى العصور المظلمة. والذين اعترضوا على كيمياء لافوازييه رأوا أن رفض «المبادئ» الكيميائية لمصلحة عناصر المختبر هو رفض للشرح الكيميائي الذي أنجزه أولئك الذين يلجأون إلى اسم مجرد. وهناك شعور مماثل، ولكن بتعبير أكثر اعتدالاً، بدا أنه كان في أساس رفض كل من إينشتاين، وبوم (Bohm)، وآخرون للتفسير الاحتمالي السائد لميكانيكا الكَمّ. وباختصار، لا يبدو التقدم

واضحاً ومؤكداً سوى في غضون فترات العلم العادي. وخلال تلك الفترات لا يستطيع المتَّحد العلمي أن يرى ثمار عمله بطريقة خلاف هذه الطريقة.

إذاً، جزء من الجواب عن مشكلة التقدم، بالنسبة إلى العلم العادي، هو في عين ناظره. فالتقدم العلمي لا يختلف في النوع عن التقدم في حقول أخرى، ولكن الغياب الذي يكون في معظم الأحيان لمدارس متنافسة تناقش أهداف ومعايير بعضها البعض الآخر، يجعل رؤية تقدم متَّحد علمي عادي أيسر كثيراً من الرؤية في حالات أخرى. ذلك هو جزء من الجواب فقط، وهو ليس بأي حال من الأحوال الجزء الأهم. وعلى سبيل المثال، سبق لنا أن لاحظنا أنه حالما يُحَرِّرُ تَسَلُّمُ براديغم مشترك المتَّحد العلمي من الحاجة الدائمة إلى إعادة فحص مبادئه الأولى، فإن أعضاء ذلك المتَّحد يستطيعون أن يركِّزوا، وبصورة حصرية، على أكثر الظواهر التي تهمهم تعقيداً [164] وغموضاً. ولا مفر من أن يزيد ذلك، زيادة فعلية، فعالية وكفاءة المجموعة ككل اللتين بهما تحل المشكلات الجديدة. وهناك نواح أخرى من الحياة المهنية في العلوم تعزِّز هذه الكفاءة ذاتها أكثر فأكثر.

وبعض هذه النواحي هو نتائج لعزلة المتَّحدات العلمية الناضجة، التي لا مثيل لها، عن متطلبات سواد الناس والحياة اليومية. ولم تكن تلك العزلة تامة أبداً ـ فنحن الآن نناقش مناقشة نسبية. ومع ذلك، لا وجود لمتحدات مهنية أخرى يكون فيها العمل الفردي المبدع موجَّهاً، بصورة حصرية إلى الأعضاءِ الآخرين في المهنة الذين يقومون بتقييمه. وإن أكثر الشعراء غرابة أو أكثر اللاهوتيين تجريداً معنيوّن أكثر من العالِم بموافقة جمهور الناس على عمله المبدع، بالرغم من أنه قد يكون أقل اهتماماً بالموافقة بشكل عام. وقد أثبت ذلك الفرق على أنه ذو نتائج. فلأن العالم لا يعمل إلا لجمهور من الزملاء، وهم يشاركونه في قيمه ومعتقداته، فإنه

يستطيع أن يأخذ مجموعة واحدة من المعايير ويسلّم بها. فهو لا يحتاج لأن يشغل باله بما تفكر فيه مجموعة ما أو مدرسة أخرى، ولذا يقدر أن يحسم مشكلة ويتقدم إلى المشكلة التي تليها بأسرع من هؤلاء الذين يعملون لمجموعة أكثر ابتعاداً عن التمسك بمعتقدات معينة. وما هو أكثر أهمية هو أن عزل المتَّحد العلمي عن المجتمع يسمح للعالِم الفرد بأن يركّز انتباهه على مشكلات يعتقد بأنه قادر على حلها استناداً إلى أسباب صالحة يملكها. فالعالِم خلاف المهندس، والكثير من الأطباء، ومعظم اللاهوتيين، لا يحتاج لأن يختار المشكلات لأنها تتطلب حلاً ملحاً، ومن دون اعتبار الأدوات التي يمكن الحصول عليها لحلها. وإن المقابلة، من هذه الناحية أيضاً، بين علماء الطبيعة والعديد من العلماء الاجتماعيين تثبت فائدتها. فالعلماء الاجتماعيون يميلون، خلافاً لعلماء الطبيعة، إلى الدفاع عن اختيارهم لمشكلة بحثية ـ مثل آثار التمييز العنصري أو أسباب دورة العمل ـ بلغة الأهمية الاجتماعية لإنجاز حل، بصورة رئيسة. فأي مجموعة، إذاً، يتوقع المرء أن تحل المشكلات بسرعة أكبر؟

[165] إن آثار الانعزال عن المجتمع الأكبر تتعاظم بخاصية أخرى للمتَّحد العلمي المهني، وهي طبيعة تنشئته التربوية. ففي الموسيقى، والفنون التخطيطية، والأدب، يكتسب الممارس تربيته بتعّرفه على أعمال الفنّانين الآخرين، وبخاصة الفنانين الأوائل. وكتب الدراسة، باستثناء ملخصات عن الإبداعات الأصلية أو كتب تعليمية عنها، ليس لها إلا دور ثانوي. وأدب الكتب الدراسية له أهمية عظيمة في التاريخ، والفلسفة، والعلوم الاجتماعية. ولكن، حتى في هذه الحقول، فإن المادة الابتدائية في الكلية تستخدم قراءات موازية من المصادر الأصلية، بعضها يكون من «المؤلفات الكلاسيكية» في الحقل، وبعضها الآخر تقارير بحثية معاصرة يكتبها الممارسون لبعضهم البعض. والحاصل هو أن الطالب في أي واحد من هذه

الأنظمة المعرفية يكون على وعي دائم بالمشكلات المتنوعة الكثيرة التي حاول حلها أعضاء مجموعته المستقبلية في مجرى الزمن. والأهم من ذلك أنه سيجد أمامه، وبصورة دائمة، حلولاً متنافسة ولا يمكن مقارنتها، لهذه المشكلات، وأن عليه في نهاية المطاف أن يقيِّمها لنفسه.

فلنقابلْ هذا الموقف بالموقف في العلوم الطبيعية المعاصرة على الأقل. ففي هذه الحقول، يعتمد الطالب على الكتب الدراسية بصورة رئيسية إلى أن يبدأ بحثه الخاص، في السنة الثالثة أو الرابعة من عمله بعد التخرج. وهناك مناهج تعليم علمية لا تطلب حتى من الطلاب الخريجين أن يقرأوا أعمالاً لم تكتب خصيصاً للطلاب. وقليل هم الذين يحددون قراءات مكملة في أوراق بحثية وفي كتب صغيرة ذات موضوع واحد، ويحصرون مثل تلك التحديدات في أكثر المواد تقدماً وفي مواد تتابع ما انتهت إليه النصوص الموجودة. وفي المراحل الأخيرة من تربية العالِم، تُستبدل كتب الدراسة، وبشكل منظم، بالأدب العلمي المبدع. وهناك نفر قليل من العلماء يرغب في تغيير التقنية التي جعلتها ثقتهم ببراديغماتياتهم ممكنة. فلماذا، بعد كل ذلك، يجب على طالب الفيزياء مثلاً أن يقرأ أعمال نيوتن، أو فاراداي، أو إينشتاين، أو شرودنغر (Schrödinger)، عندما يكون كل ما يحتاج إلى معرفته عن هذه الأعمال ملخّصاً بصورة أفضل، وأدق، وأكثر تنظيماً، في عدد من الكتب الدراسية الحديثة؟

ومن دون الرغبة في الدفاع عن التطويلات المفرطة التي سيق إليها هذا النمط من التربية، فإن المرء لا يسعه إلا أن يلاحظ أنه، وبصورة عامة، كان نمطاً ذا فعالية كبيرة. وبالطبع، إن هذه التربية [166] ضيقة وجامدة، ومن المحتمل أن تكون أكثر من أي تربية أخرى ضيقاً وجموداً، ما خلا في اللاهوت الأرثوذوكسي. غير أن العالم تقريباً يكون مجهزاً تجهيزاً كاملاً للعمل العلمي العادي، ولحل

الأحجيات في داخل التقليد الذي تحدده كتب الدراسة. وزيادة على ذلك، فإنه مجهز جيداً لعمل آخر أيضاً ـ أي توليد أزمات مهمة من خلال العلم العادي. فعندما تنشأ هذه الأزمات، لا يكون العالِم مُعَداً لها إعداداً جيداً مماثلاً. ومع أن الأزمات الطويلة الزمن ينعكس تأثيرها في حصول ممارسة تربوية أقل جموداً، فليس التدريب العلمي مصمماً تصميماً جيداً بحيث ينتج الرجل الذي سيكتشف، بيسر، مقاربة جديدة. ولكن، عندما يظهر إنسان ومعه براديغم مرشّح جديد ـ عادة ما يكون إنساناً صغير السن أو حديث العهد بالحقل ـ فإن الخسارة المتسببة من الجمود تصيب الفرد ليس إلا. وإذا افترضنا وجود جيل تغييري، فإن الجمود الفردي يكون متوافقاً مع متَّحد يقدر أن يحوّل من براديغم إلى براديغم عندما تتطلب الحالة. ويكون ذلك متوافقاً بشكل خاص عندما يوفر ذلك الجمود بعينه للمتَّحد مؤشِّراً حسّاساً على أن شيئاً ما قد انحرف عن الطريق الصحيحة.

لذا، فإن المتَّحد العلمي، وفي حالته العادية، هو أداة فعالة بصورة كبيرة في حل المشكلات أو الأحجيات التي تحددها براديغماته. وزيادة على ذلك، لا بد أن تكون نتيجة حل تلك المشكلات تقدماً ولا يوجد مشكلة في ذلك. وإن رؤية ذلك المقدار، يُلقي ضوءاً قوياً على الجزء الثاني الرئيس لمشكلة التقدم في العلوم، وهذا هو ما يحصل فقط. لذلك لنتحولْ إليه، ولنسألْ عن التقدم من خلال العلم غير العادي. لماذا يجب على التقدم أيضاً أن يكون المرافق الشامل والواضح للثورات العلمية؟ وللمرة الثانية، نقول إن ثمة الكثير مما يمكن تعلّمه من السؤال عن أي شيء آخر يمكن أن تكون عليه نتيجة ثورة ما. فالثورات تنتهي بنصر كلّي لأحد المعسكرين المتضادين. فهل يمكن أن تقول المجموعة المنتصرة إن نتيجة انتصارها شيء أقل من التقدم؟ إن قول ذلك معناه التسليم بأن أفرادها كانوا على خطأ،

وإن خصومهم كانوا على صواب. إن حاصل الثورة، لا بد أن يكون بالنسبة إليهم على الأقل تقدماً وهم في وضع ممتاز ليتيقنوا من أن أعضاء متحدهم المستقبليين سيرون التاريخ القديم بالطريقة نفسها.

[167] ويصف الفصل الحادي عشر بالتفصيل تقنيات تحقيق ذلك، وعدنا الآن لناحية من نواحي الحياة العلمية المهنية ذات صلة وثيقة بما وصفنا. وعندما يرفض متَّحد علمي براديغم سابقاً فإنه يتخلى، في الوقت نفسه، عن معظم الكتب والمقالات التي تجسّد فيها ذلك البراديغم، فلا يعتبرها موضوعاً ملائماً للفحص المهني. وإن التربية العلمية لا تستخدم مواداً تساوي متحف الفن أو مكتبة المؤلفات الكلاسيكية، وينتج عن هذه الحالة تحريف قوي في إدراك العالِم لماضي نظامه المعرفي. فينتهي إلى رؤيته مؤدياً في خط مستقيم إلى الحالة الراهنة لنظامه المعرفي، أكثر مما يحصل مع الممارسين في حقول إبداع أخرى. وباختصار، إنه يخلص إلى رؤيته تقدماً. وليس له من بديل يمكنه الوصول إليه طالما بقي في حقله.

ولا مفرّ من أن توحي تلك الملاحظات بفكرة أن عضو متَّحد علمي ناضج، مثله مثل الشخصية النمطية في رواية **أورويل** (*Orwell*) عام 1984، هو ضحية إعادة كتابة التاريخ من قبل السلطات القائمة. وعلاوة على ذلك، فإن تلك الفكرة ليست من النوع غير المناسب كلياً. ففي الثورات العلمية خسائر، وفيها مكاسب أيضاً، ولكن العلماء يميلون إلى التغاضي عن الخسائر[3]. ومن جهة أخرى، لا يمكن أن يتوقف شرح التقدم من خلال الثورات عند هذه النقطة. وإن

---

(3) غالباً ما يواجه مؤرخو العلم هذا العمى بصورة مؤثرة بشكل خاص، فمجموعة الطلاب الذين يأتون إليهم من العلوم هي المجموعة الأفضل التي يعلمونها، وذلك في أغلب الأحيان. ولكنها، أيضاً، المجموعة المحبِطة، في البداية. وذلك، لأن طلاب العلوم «يعرفون الأجوبة الصحيحة»، فهناك صعوبة لجعلهم يحللون علماً قديماً بمصطلحاته الخاصة.

حصل ذلك، فإنه يتضمن فكرة أن القوة تصنع الحق في الثورات، وهذه صيغة ليست خاطئة تماماً إذا لم تطمس طبيعة العملية والسلطة المعرفية اللتين بهما يتم الاختيار بين البراديغمات. فإذا كانت السلطة وحدها، وبخاصة السلطة غير المهنية، هي الفيصل في المجادلات حول البراديغمات، فإن حاصل تلك المجادلات يمكن أن يظل ثورة، لكنه لن يكون ثورة **علمية**. إن وجود العلم ذاته يتوقف على أن تكون سلطة الاختيار بين البراديغمات في يد أعضاء نوع خاص من المتَّحد. أما كيف يجب أن تكون خصوصية ذلك المتَّحد لكي يحيا العلم وينمو فتدل عليها القبضة الإنسانية الضعيفة على المشروع العلمي. فكل حضارة نملك عنها سجلات وثائقية كان في حوزتها [168] تكنولوجيا، وفن، ودين، ونظام سياسي، وقوانين متطورة مثل ما لدينا. ولكن الحضارات التي انحدرت من بلاد اليونان الهيلينية وحدها كان في حوزتها أكثر مما كان في أكثر العلوم اشتمالاً على المبادئ الأولى. إن المقدار الأعظم من المعرفة العلمية كان من نتاج أوروبا في القرون الأربعة الأخيرة. ولم يدعم أي مكان آخر، ولا وجد زمان أيَّد المتحدات الخاصة التي منها خرج الإنتاج العلمي، سوى أوروبا، وفي تلك القرون.

فما هي الخصائص الجوهرية لهذه المتَّحدات؟ واضح أنها تتطلب درساً أوسع. وفي هذه المنطقة لا تُمْكِنُ إلا التعميمات الحذرة. ومع ذلك، لا بد من أن يكون عدد من شروط العضوية في مجموعة علمية مهنية واضحاً وضوحاً لا لبس فيه، وأن يكون قد حصل ذلك. فالعالِم، على سبيل المثال، يجب أن يكون معنياً بحل مشكلات تتعلق بسلوك الطبيعة. ومع أن اهتمامه بالطبيعة يمكن أن يكون اهتماماً ذا نطاق واسع، فإن المشكلات التي يشتغل عليها يجب أن تكون مشكلات تفصيلية. والأكثر أهمية هو أن الحلول التي

ترضيه يجب ألا تكون مجرد حلول شخصية، بل يجب أن تكون، بدلاً من ذلك، مقبولة من كثيرين. غير أن المجموعة المشاركة بقبول هذه الحلول لا تستمد بشكل عشوائي من المجتمع ككل، بل هي المتحد المحدد تحديداً جيداً والمؤلَّف من النظراء المهنيين للعالِم. وإن إحدى أقوى قواعد الحياة العلمية، التي لم تكتب بعد، هي منع اللجوء إلى رؤساء الدولة أو إلى الشعب بمعناه الواسع في الشؤون العلمية. وإن الإقرار بوجود مجموعة مهنية مقتدرة على نحو فريد، والقبول بدورها كفيصل وحيد في الإنجازات المهنية، هذا الإقرار له نتائج ضمنية أخرى. فأعضاء المجموعة، كأفراد، وكمشاركين في التدريب والخبرة، يجب النظر إليهم على أنهم الحائزون الوحيدون على قواعد اللعبة أو على أساس مكافئ لإصدار أحكام واضحة. وإن الشك باشتراكهم في أساس كهذا للتقييم معناه التسليم بوجود معايير متناقضة يقاس بها الإنجاز العلمي. حالتئذ، لا بد أن يؤدي ذلك التسليم إلى طرح سؤال حول إمكانية وجود صدق في العلوم.

إن هذه اللائحة الصغيرة المشتملة على الخصائص المشتركة للمتحدات العلمية مستمدة من ممارسة العلم العادي، ويجب أن تكون كذلك. فذلك هو النشاط الذي جرت العادة على تدريب العالم [169] عليه. غير أنه تجدر الملاحظة أنه بالرغم من صغر اللائحة، فإنها كافية للتفريق بين هذه المتحدات والمتحدات المهنية الأخرى كلها. ولاحظْ، بالإضافة إلى ذلك، أن اللائحة تشرح، بالرغم من كون مصدرها العلم العادي، ملامح خاصة كثيرة لاستجابة المجموعة خلال الثورات، وبخاصة أثناء المجادلات حول البراديغمات. وقد سبق لنا أن لاحظنا أن مجموعة من هذا النوع لا بد لها من أن ترى تغير البراديغم بمثابة تقدم. والآن يمكننا أن نلاحظ أن الإدراك هو مُرْضٍ في ذاته، ومن نواحٍ مهمة. إن المتَّحد العلمي أداة فعالة من

طراز عالٍ جداً لزيادة عدد المشكلات المحلولة ودقتها إلى الحد الأعلى عبر تغيير البراديغم.

ولأن وحدة قياس الإنجاز العلمي هي المشكلة المحلولة، ولأن المجموعة تعرف جيداً أي مشكلات قد سبق حلها، فإن نفراً قليلاً من العلماء يمكن إقناعه لتبني وجهة نظر ستفتح باب الشك في العديد من المشكلات التي سبق حلها. والطبيعة ذاتها لا بد لها أن تدمر الأمن المهني عن طريق جعل الإنجازات السابقة تبدو إشكاليات. وزيادة على ذلك، وحتى عندما يتم حصول ذلك، ويُقَدَّم براديغم مرشح جديد، فإن العلماء سيكونون غير محبذين قبوله قبل أن يقتنعوا بتحقق شرطين لهما كل الأهمية. الشرط **الأول**، يجب على المرشح الجديد أن يبدو قادراً على حل مشكلة بارزة ومعروفة بصورة عامة، ولا يمكن حلها بطريقة أخرى. والشرط **الثاني**، يجب على البراديغم الجديد أن ينطوي على وعد بالمحافظة على جزء كبير نسبياً من القدرة المادية على حل المشكلات التي أضيفت إلى العلم من خلال البراديغمات السابقة له. فالجدّة لذاتها ليست حاجة في العلوم كما هي في حقول إبداع كثيرة أخرى. والنتيجة هي أن البراديغمات الجديدة تحتفظ عادة بمقدار كبير من أكثر الأجزاء المادية للإنجاز الماضي، مع أنها قلّما تحوز، أو لا تحوز إطلاقاً، على كل قدرات البراديغمات السابقة، وهي تسمح وبصورة دائمة بحلول لمشكلات مادية إضافية.

والقول بهذا المقدار لا يعني أن القدرة على حل المشكلات هي الأساس الوحيد أو هي الأساس الواضح لاختيار البراديغم. وقد سبق أن لاحظنا أسباباً عديدة تشرح عدم وجود معيار من ذلك النوع. ولكن القول يرى إن متَّحداً مؤلفاً من اختصاصيين علميين سيفعل كل ما في استطاعته لتأمين النمو المستمر للمعطيات المجمَّعة التي يمكنه [170]

معالجتها بدقة وتفصيل. وخلال العملية سيتحمل المتحد خسائر. وغالباً ما يستلزم الأمر استبعاد بعض المشكلات القديمة. وبالإضافة إلى ذلك، فإن الثورات غالباً ما تضيّق مجال المشاغل المهنية للمتحد، وتزيد مقدار تخصصه، وتضعف اتصالاته بالمجموعات الأخرى، العلمية منها والعادية. ومع أن العلم يتعمق، فإنه لا يتسطَّح. وإذا توسع على السطح، فإن ذلك التوسع يتجلى بصورة رئيسة في ظاهرة تكاثر الاختصاصات العلمية، وليس في مجال أي اختصاص منفرد وحده. وبالرغم من هذه الخسائر، وخسائر أخرى تحل بالمتحدات الفردية، فإن طبيعة مثل هذه المتحدات توفر ضمانة عملية بأن لائحة المشكلات التي حلها العلم ودقة الحلول للمشكلات الفردية، كليهما، سينموان باطّراد. وعلى الأقل، توفر طبيعة المتحد مثل هذه الضمانة، إذا وجدت طريقة لتوفيرها. فأي معيار يمكن أن يوجد أفضل من قرار المجموعة العلمية؟

تشير هذه الفقرات الأخيرة إلى الاتجاهات التي يجب أن يُبحث فيها، بحسب اعتقادي، عن حل أنقى لمشكلة التقدم في العلوم. وربما تدل على أن التقدم العلمي ليس تماماً كما اعتبرناه. ولكنها تبين، في الوقت نفسه، أن نوعاً من التقدم لا بد أن يميز المشروع العلمي ما دام مثل هذا المشروع على قيد الحياة. فلا حاجة لوجود نوع آخر من التقدم في العلوم. ولكي نكون أكثر دقة، علينا التخلي عن الفكرة، الصريحة أو الضمنية، وهي أن تغيير البراديغمات يقرب العلماء والذين يتعلمون منهم من الصدق باطراد.

لقد آن الأوان لكي نلاحظ أن مصطلح «الصدق» قد دخل هذه المحاولة حتى صفحاتها القليلة الأخيرة في نص مأخوذ من فرانسيس بيكون. وحتى في تلك الصفحات فإنه لم يدخل إلا كمصدر لاعتقاد العالم بأن القواعد المتناقضة للعمل العلمي لا توجد معاً إلا خلال

الثورات عندما يكون العمل الرئيس للمهنة حذف كل المجموعات ما خلا واحدة. وإن العملية التطورية الموصوفة في هذه المحاولة كانت عملية تطور **من** لغات بدائية - أي عملية تتميز مراحلها المتعاقبة بتزايد التفاصيل ووضوح الفهم للطبيعة. لكن لا شيء مما قيل أو مما سيقال يجعلها عملية تطور **نحو** أي شيء. ولا شك في أن هذه الثغرة [171] قد سببت قلقاً عند قراء كثيرين. ذلك لأننا تعودنا جميعاً أن ننظر إلى العلم على أنه المشروع الوحيد الذي يقترب أكثر فأكثر، وعلى الدوام، من هدف وضعته الطبيعة مقدماً.

ولكن، هل هناك من حاجة إلى مثل هذا الهدف؟ أليس بإمكاننا أن نشرح وجود العلم ونجاحه على السواء بمصطلحات التطور من الحالة المعرفية للمتَّحد في أي وقت مفترض؟ وهل حقيقة يساعد التخيل بأن ثمة شرحاً واحداً وكاملاً وموضوعياً وصادقاً للطبيعة، وأن القياس الملائم للإنجاز العلمي هو مدى تقريبه لنا من ذلك الهدف الأخير؟ وإذا كان بإمكاننا أن نعرف كيف نبدِّل مفهوم التطور مما نعرف بمفهوم التطور نحو ما نرغب في أن نعرف، فإن عدداً من المشكلات المقلقة قد يزول في مجرى العملية. وفي مكان ما في هذه المتاهة لا بد أن تقع مشكلة الاستقراء، على سبيل المثال.

ما زلت لا أستطيع أن أحدد بأي تفصيل النتائج المترتبة على هذه النظرة البديلة للتقدم العلمي. ولكن تساعد الملاحظة بأن تبادل المفاهيم المقترح هنا قريب جداً من واحد أنجزه الغرب قبل قرن. وهذه الملاحظة تساعد بشكل خاص لأن العقبة الرئيسة للمبادلة كانت نفسها في كلا الحالين. فعندما نشر داروين نظريته في التطور بواسطة الانتقاء الطبيعي في عام 1859، فإن أكثر ما أزعج الكثيرين من المهنيين لم يكن فكرة تغير الأنواع ولا فكرة التحدّر الممكن للإنسان من القردة. فالدليل الذي يشير إلى وجود تطور، بما في ذلك تطور

الإنسان، كان يتراكم منذ عقود، وفكرة التطور كانت قد اقترحت وانتشرت انتشاراً واسعاً من قبل. ومع أن التطور بحد ذاته قد واجه مقاومة، وبخاصة من بعض المجموعات الدينية، إلا أن ما حصل لم يكن أعظم الصعوبات التي واجهت المذهب الداروينى بأي حال من الأحوال. فقد نشأت الصعوبة من فكرة هي فكرة داروينية تقريباً. فكل نظريات التطور المعروفة التي تقدمت نظرية داروين- كنظرية لامارك (Lamarck)، وتشامبرز (Chambers)، وسبنسر (Spencer)، وفلاسفة الطبيعة الألمان - قد اعتبرت التطور عملية مستهدِفة. وإن «فكرة» الإنسان والحياة النباتية والحياة الحيوانية المعاصرتين كان يظن بأنها كانت موجودة منذ الخلق الأول للحياة، وربما كانت في عقل الله. [172] وتلك الفكرة أو الخطة وفرت الاتجاه والقوة الموجهة لكل العملية التطورية. وكانت كل مرحلة جديدة من النمو التطوري تحقيقاً أكمل لخطة كانت موجودة منذ البداية[4].

وبالنسبة إلى الكثيرين كان إلغاء ذلك النوع من التطور الغائي هو الفكرة الأكثر أهمية والأقل استساغة من بين مقترحات داروين[5]. فكتاب **أصل الأنواع** لا يقّر بأي هدف موضوع من الله أو الطبيعة. وبدلاً من ذلك، فإن الانتقاء الطبيعي العامل في بيئة مفترضة، وبوجود الكائنات العضوية الواقعية الماثلة، هو المسؤول عن النشوء التدريجي والثابت لكائنات عضوية أكثر إتقاناً وأكثر وضوحاً وأكثر

---

(4) انظر: Loren C. Eiseley, *Darwin's Century: Evolution and the Men who Discovered it*, Doubleday Anchor Books (Garden City, NY: [Doubleday], 1958), chaps. ii and iv-v.

(5) للاطلاع على وصف دقيق لأحد عراكات داروين مع هذه المشكلة، انظر: A. Hunter Dupree, *Asa Gray, 1810-1888* (Cambridge, MA: [Belknap Press of Harvard University Press], 1959), pp. 295-306 and 355-383.

تخصصاً. حتى إن الأعضاء التي تكيفت بصورة عجيبة مثل عين الإنسان ويده - أي الأعضاء التي كان تصميمها في الماضي قد وفَّر حججاً قوية على وجود صانع بارع وخطة تقدم - كانت من نتاج عملية تقدمت بلا انقطاع من بدايات بدائية ولكن نحو لا هدف. والاعتقاد بأن الانتقاء الطبيعي الناتج من مجرد المنافسة بين الكائنات العضوية من أجل البقاء يمكنه أن ينتج الإنسان ومعه الحيوانات العليا والنباتات كان المظهر الأكثر صعوبة والأكثر إقلاقاً من نظرية داروين. فماذا يمكن أن يعني التطور والنمو والتقدم في غياب هدف محدد؟ لقد بدت مثل هذه المصطلحات لكثير من الناس، فجأة، بأنها مصطلحات متناقضة ذاتياً.

إن المماثَلَة التي تربط تطور الكائنات العضوية بتطور الأفكار العلمية يمكن دفعها بسهولة إلى حدٍّ بعيد يتعدى المعقول. ولكنها، نسبة إلى موضوعات هذا الفصل الختامي، مماثَلَة كاملة تقريباً. وإن العملية الموصوفة في الفصل الثاني عشر بخمود الثورات هي انتقاء عن طريق النزاع داخل المتَّحد العلمي لأنسب طريقة لممارسة العلم المستقبلي. والنتيجة الصافية لسلسلة عمليات الانتقاء هذه، المنفصل بعضها عن البعض بفترات البحث العادي، هي مجموعة الأدوات ذات التكيف البديع التي ندعوها المعرفة العلمية الحديثة. وقد تميزت المراحل المتعاقبة في عملية التطور تلك بزيادة في الإتقان والاختصاص. وقد تكون العملية برمّتها قد حدثت، مثلما حدث في التطور البيولوجي وفقاً لافتراضنا الحالي، من دون الانتفاع من وجود [173] هدف محدَّد أو حقيقة علمية ثابتة ودائمة تشكل كل مرحلة من مراحل التطور العلمي مثلاً أفضل لها.

إن أي واحد تتبع المناقشة إلى هذا الحدّ سيشعر بالحاجة إلى السؤال عن السبب الذي أوجب نجاح العملية التطورية. ماذا يجب أن

تكون صورة الطبيعة، بما في ذلك الإنسان، ليكون العلم ممكناً؟ ولماذا على المتَّحدات العلمية أن تكون قادرة على الوصول إلى إجماع لم يتحقق مثله في حقول أخرى؟ لماذا يصمد الإجماع عبر تغير براديغم بعد براديغم؟ ولماذا يُفرض على تغير البراديغم أن ينتج باستمرار أداة أكمل من الأدوات المعروفة من قبل؟ فمن وجهة نظر واحدة تمَّت الإجابة عن تلك الأسئلة باستثناء السؤال الأول. ولكن من وجهة نظر أخرى، تظل الأسئلة مطروحة وبلا أجوبة مثلما كانت عند بداية هذه المحاولة. فليس المتَّحد العلمي وحده هو الذي يجب أن يكون خاصاً. فالعالَم الذي يكوّن المتَّحد العلمي جزءاً منه يجب أن يتمتع بخصائص خاصة، ونحن لسنا في وضع أقرب مما كنا في البداية إلى معرفة ما يجب أن تكون. غير أن تلك المشكلة - أي ماذا يجب أن تكون عليه صورة العالم لكي يمكن الإنسان معرفته؟ الواقع أنّ هذه الصورة ليست من عمل هذه المقالة. فعلى العكس، إنها قديمة قدم العلم نفسه، وما زالت بلا جواب. ولكنها لا تحتاج إلى جواب هنا. فأي مفهوم للطبيعة متوافق مع نمو العلم بالبرهان يكون متوافقاً مع النظرة التطورية للعلم التي شرحناها هنا. وبما أن هذه النظرة متوافقة أيضاً مع المشاهدة الدقيقة للحياة العلمية، فهناك حجج قوية لتوظيفها في محاولات حلّ جيش من المشكلات الباقية.

حاشية ـ 1969

انقضت الآن سبع سنوات على نشر هذا الكتاب لأول مرة[1]. وخلال هذه الفترة ازداد فهمي لعدد من المسائل التي طرحتها وذلك بتأثير استجابة النقاد وعملي الخاص الإضافي. ولم تتغير وجهة نظري تقريباً بشأن الأمور الأساسية، لكنني الآن ألاحظ نواحيَ من صياغتها الأولية تخلق صعوبات مجانية وسوء فهم. ولما كان بعض ظواهر سوء الفهم من صنعي، فإن إزالتها تمكنني من التوسع الذي سيوفر لي، في نهاية المطاف، الأساس لنسخة جديدة للكتاب[2]. وفي الوقت نفسه فإني أرحب بالفرصة التي سنحت بعرض مختصر

(1) لقد أعدت هذه الحاشية لأول مرة بناءً على اقتراح من أحد تلامذتي وصديقي الدكتور شيغيرو ناكاياما (Shigeru Nakayama) الأستاذ في جامعة طوكيو لإدخالها في الترجمة اليابانية لهذا الكتاب. وإني شاكر له على هذه الفكرة، وعلى صبره في انتظار يناعها، ولسماحه بإدخالها في طبعة اللغة الإنجليزية.

(2) لم أحاول في هذه الطبعة إعادة كتابة منظمة، وحصرت التغيرات في أخطاء مطبعية قليلة بالإضافة إلى فقرتين فيهما أخطاء منفصلة. وإحدى هاتين الفقرتين تصف دور كتاب نيوتن: **المبادئ** في تطور ميكانيكا القرن الثامن عشر، ص 90 - 96 من هذا الكتاب. والخطأ الآخر يختص بالاستجابة إلى الأزمات، ص 168 - 169 من هذا الكتاب.

للمراجعات المطلوبة، وبالتعليق على بعض الانتقادات المتكررة، واقتراح الاتجاهات التي يتطور فيها تفكيري الخاص حالياً[3].

يتجمع العديد من الصعوبات الرئيسية للنص الأصلي لكتابي حول تصور البراديغم، لذا فإن مناقشتي ستبدأ به[4]. وفي الفترة التي ستتبع حالاً، سأقترح فكرة مرغوبة، ألا وهي فك ارتباط ذلك التصور بمفهوم المتَّحد العلمي، وسأدلّ على كيفية تحقيق ذلك، وأناقش بعض النتائج المهمة لهذا الفصل التحليلي الناتج. وبعد ذلك، سأنظر في ما يحدث عندما يُبحث عن البراديغمات، وذلك عن طريق فحص سلوك أعضاء متَّحد علمي **سبق تحديده**. وسيكشف هذا التدبير بسرعة عن أن مصطلح «براديغم»، وفي محلات كثيرة من الكتاب، استعمل بمعنيين مختلفين. فمن جهة، كان يمثِّل جملة منظومة المعتقدات، والقيم، والتقنيات، وما شابه، التي يشترك فيها أعضاء متَّحد مفترض. ومن جهة أخرى، كان المصطلح يدل على نوع واحد من عناصر تلك المنظومة، وهو الحلول المادية للأحجيات التي تقدر، إذا ما وظفت كبراديغمات أو أمثلة، أن تحلّ محلّ [175]

(3) يمكن الوقوع على إشارات أخرى في مقالتين حديثتين لي، وهما: Thomas S. Kuhn: «Reflection on my Critics,» Paper Presented at: *Criticism and the Growth of Knowledge*, Edited by Imre Lakatos and Alan Musgrave, Its Proceedings; v. 4 (Cambridge, MA: Cambridge University Press, 1970), and «Second Thoughts on Paradigms,» Paper presented at: *The Structure of Scientific Theories*, Edited with a Critical Introd. by Frederick Suppe (Urbana, Ill: University of Illinois Press, [1974]).

(4) للإطلاع على نقد لعرضي الأولي للبراديغمات، انظر: Margaret Masterman, «The Nature of a Paradigm,» Paper presented at: *Criticism and the Growth of Knowledge*, and Dudley Shapere, «The Structure of Scientific Revolutions,» *Philosophical Review* (Ithaca, NY), vol. 73, no. 3 (July 1964), pp. 383-394.

القواعد الواضحة كأساس لحلّ أحجيات العلم العادي الباقية. المعنى **الأول** للمصطلح، ولنطلق عليه اسم المعنى السوسيولوجي وهو [176] موضوع الفقرة رقم 2 أدناه، أما الفقرة رقم 3 فقد خصصت للكلام على البراديغمات باعتبارها إنجازات ماضية مجسَّدة في أمثلة.

المعنى **الثاني** «للبراديغم» هو، من الوجهة الفلسفية على الأقل، أعمق الاثنين، وإن الآراء التي وضعتها باسمه كانت المصادر الرئيسة للخلافات في الرأي وظواهر سوء الفهم التي أثارها الكتاب، وبخاصة التهمة التي مفادها أني صنعت من العلم مشروعاً ذاتياً وغير معقول. هذه المسائل سوف ينظر إليها في الفقرتين رقم 4 ورقم 5. فالفقرة رقم 4 تناقش فكرة أن مصطلحات مثل «ذاتي» و«حدسي» لا يمكن تطبيقها تطبيقاً مناسباً على مكونات المعرفة التي وصفتها، باعتبارها مكونات متضمنة في الأمثلة المشتركة. ومع أن مثل هذه المعرفة ليس خاضعاً، من دون تغيير جوهري، إلى إعادة صياغة بلغة قواعد ومعايير، إلا أنه منظم، وقد اختبره الزمن، وهو، وبمعنى من المعاني قابل للتصحيح. أما الفقرة رقم 5 فتطبق تلك الحجة على مشكلة الخيار بين نظريتين متناقضتين، حاثاً، في خاتمة قصيرة، على اعتبار الذين يحملون وجهات نظر لا يمكن مقارنتها منطقياً على أنهم أعضاء في متحدين لهما لغتان مختلفتان وعلى أن تُحَلَّل مشكلات الاتصال بينهما باعتبارها مشكلات ترجمة. وهناك مسائل ثلاث متبقية سنناقشها في الفقرتين رقم 6 ورقم 7 الاختتاميين. تنظر الفقرة رقم 6 في التهمة المتعلقة بوجهة النظر المعروضة في هذا الكتاب بأنها وجهة نظر نسبية من أوله إلى آخره. أما الفقرة رقم 7 فتبدأ بفحص تهمة مفادها أن حجتي تعاني، كما قيل، خلطاً بين النمط الوصفي والنمط المعياري، وتنتهي مختتمة بملاحظات على موضوع يستحق محاولة منفصلة، وهو: مدى انطباق الأفكار الرئيسة للكتاب انطباقاً مشروعاً على حقول أخرى غير العلم.

1- البراديغمات وبنية المتَّحد

لقد دخل مصطلح «البراديغم» الصفحات السابقة مبكراً، وكانت طريقة دخوله دائرية بصورة ضمنية. فالبراديغم هو ما يشارك فيه أعضاء متحد علمي، و، يمكن قول العكس، والقول بأن المتَّحد العلمي يتألف من أشخاص صفتهم هي أنهم يشاركون في براديغم. فليس كل ما هو دائري أغلوطة منطقية (وسوف أدافع عن حجة ذات بنية مماثلة في ما بعد في هذه الحاشية)، غير أن هذا المثل هو منبع صعوبات حقيقية. فالمتحدات العلمية يمكنها ويجب أن تكون معزولة من دون لجوء سابق إلى البراديغمات، والبراديغمات يمكن اكتشافها، في ما بعد، عن طريق فحص سلوك أعضاء متَّحد علمي مفترض. وإذا افترضنا أن هذا الكتاب أعيدت كتابته، فستكون فاتحته مناقشة البنية المتَّحدية للعلم، وهو موضوع أصبح حديثاً موضوعاً مهماً للبحث السوسيولوجي كما أن مؤرخي العلم بدأوا بالنظر إليه نظرة جدّية. وتقدم النتائج الأولية، والكثير منها لم ينشر بعد، فكرة تفيد أن التقنيات التجريبية اللازمة لبحثه ليست من النوع التافه، وأن بعضها موجود، والبعض الآخر سيتم تطويره بلا شك[5]. إن أكثر العلماء الممارسين يستجيبون فوراً لأسئلة تتعلق بانتمائهم للمتحدات، مسلّمين بأن المسؤولية في الاختصاصات

(5) انظر: Warren O. Hagstrom, *The Scientific Community* (New York: [Basic Books], 1965), chaps. iv and v; Derek de Solla Price and D. Beaver, «Collaboration in an Invisible College,» *American Psychologist* (Washington), vol. 21 (November 1966), pp. 1011-1018; Diane Crane, «Social Structure in a Group of Scientists: A Test of the 'Invisible College' Hypothesis,» *American Sociological Review* (Albany, NY), vol. 34, no. 3 (June 1969), pp. 335-352, and N. C. Mullins: «Social Networks Among Biological Scientists,» (Ph. D. Dissertation, Harvard University, 1966), and «The Micro-Structure of an Invisible College: The Phage Group,» Paper Presented at: Annual Meeting of the American Sociological Association, Boston, 1968.

القائمة المختلفة موزعة على مجموعات ذات عضوية محددة تحديداً تقريبياً على الأقل. لذلك فإني سأفترض هنا أن وسائل منظمة بصورة أفضل سوف يتم الوقوع عليها لهدف تحديدهم. وبدلاً من تقديم نتائج بحثية أولية، دعني أقدم باختصار صياغة واضحة للمفهوم الحدسي للمتَّحد الذي يقع في أساس الكثير مما ورد في الفصول الأولى لهذا الكتاب. وهو مفهوم يشارك فيه الآن وبشكل واسع، العلماء، والسوسيولوجيون، وعددٌ من مؤرخي العلم.

وبحسب هذه النظرة، يتألف المتَّحد العلمي من ممارسين [177] لاختصاص علمي ما. وهم قد اجتازوا تربية تعليمية مماثلة وقبولاً مهنياً بمقدار لا يوازيه مقدار في معظم الحقول الأخرى. وخلال العملية، تشرَّبوا الأدب التقني ذاته وحصّلوا الدروس ذاتها منه. والعادة، هي أن حدود ذلك الأدب الاعتيادي تعيّن حدود المادة العلمية، وأن كل متحد له مادته العلمية الخاصة به. وهناك في العلوم والمتحدات مدارس تتناول الموضوع ذاته من وجهات نظر متناقضة. ولكن وجودها في الحقل العلمي أندر كثيراً من وجودها في الحقول الأخرى، وهي في تنافس دائم، وتنافسها سرعان ما ينتهي، عادة. والنتيجة هي أن أعضاء المتحد العلمي يرون أنفسهم كما يراهم الآخرون على صورة أشخاص مسؤولين بشكل فريد عن متابعة مجموعة من الأهداف المشتركة، بما في ذلك تدريب خَلَفِهم. والاتصالات داخل هذه المجموعات كاملة نسبياً، كما أن القرار المهني هو قرار إجماعي نسبياً أيضاً. ولأن انتباه المتحدات العلمية المختلفة منصَبٌّ على أمور مختلفة، فإن الاتصالات المهنية عبر خطوط المجموعات تكون صعبة، وغالباً ما ينجم عنها سوء فهم، وقد يثير، إذا توبع، خلافاً جدياً لم يكن متوقعاً من قبل.

إن متحدات بهذا المعنى موجودة على مستويات عدة بالطبع. وأكثرها اتساعاً هو المتحد الذي يشمل جميع العلماء الطبيعيين على

وجه الأرض. أما على مستوى أدنى بقليل فقط، فإن المجموعات العلمية المهنية الرئيسة تتألف من: الفيزيائيين، والكيميائيين، والفلكيين، وعلماء الحيوان، وما شابه. والعضوية داخل المتحد في كل من هذه المجموعات تتأسس فوراً، ما عدا عند أطرافها. ويكفي لحصولها أن يكون المرء قد أنجز موضوعاً على درجة علمية عالية، وأن يكون عضواً في جمعيات مهنية، ومطلعاً على المجلات العلمية. وهناك تقنيات مماثلة تفصل ما بين المجموعات الفرعية الأساسية، مثل: علماء الكيمياء العضوية، وربما اعتبر علماء كيمياء البروتين من بينهم، وعلماء فيزياء الأجسام الصلبة وعلماء فيزياء الطاقة العليا، وعلماء الفلك المختصون بالاتصالات الراديوية، وهكذا. ولا تظهر المشكلات التجريبية إلا في المستوى الأدنى الذي يلي. ولنأخذ مثلاً معاصراً ونسأل كيف يمكن المرء أن يفصل المجموعة المختصة بالبلعم(*) قبل الإعلان عن وجودها إعلاناً عاماً؟ ولتحقيق هدف الإجابة عن السؤال، لا بد للمرء أن يستعين بحضور المؤتمرات الخاصة، وبما وُزِّع من مسوَّدات مخطوطات أو نسخ الطباعة الأصلية السابقة للنشر، وقبل كل شيء عليه أن يلجأ إلى شبكات الاتصال [178] الرسمية وغير الرسمية بما في ذلك تلك التي اكتشفت بالمراسلة وفي الروابط ما بين الأقوال التي يستشهد بها[6]. وإني أعتقد أن هذا العمل

(*) البلعم وجمعها بلاعم، تعني خلية تبتلع الأجسام الغريبة والبكتيريا وتقضي عليها (المترجم).

(6) Eugene Garfield, dir., *The Use of Citation Data in Writing the History of Science*, Irving H. Sher, Director of Research; Richard J. Torpie, Research Associate (Philadelphia: [n. pb.], 1964); M. M. Kessler, «Comparison of the Results of Bibliographic Coupling and Analytic Subject Indexing,» *American Documentation* (Washington), vol. 16, no. 3 (1965), pp. 223-233, and Derek de Solla Price, «Networks of Scientific Papers,» *Science*, vol. 149 (July 1965), pp. 510-515.

يمكن القيام به وسوف يُنْجَز، في المشهد المعاصر وفي الأجزاء الحديثة من التاريخ على الأقل. ويمكن هذا العمل أن يقدم متحدات قد يتألف واحدها من مئة عضو، وأحياناً أقل كثيراً. وقد جرت العادة أن يتبع العلماء الأفراد، بخاصة الأكفأ من بينهم، لعدة مجموعات مثل هذه في الوقت نفسه أو في أوقات متعاقبة.

المتَّحدات، من هذا القبيل بمثابة الوحدات التي قدمها هذا الكتاب على أنها المنتجة للمعرفة العلمية والمبرهنة على صحتها. والبراديغمات هي ما يشترك به أعضاء هذه المجموعات. ومن دون الإشارة إلى طبيعة هذه العناصر المشتركة، يندر فهم نواحٍ كثيرة من العلم تمَّ وصفها في الصفحات السابقة. لكن يمكن فهم نواحٍ أخرى، بالرغم من أنها لم تقدم بصورة مستقلة في النص الأصلي. لذا، تجدر ملاحظة سلسلة من المواضيع التي تتطلب إشارة إلى بنية المتحد وحده، وذلك قبل التحوّل إلى موضوع البراديغمات مباشرة.

وقد يكون أكثر هذه المواضيع إثارة هو ما كنت قد دعوته سابقاً الانتقال من فترة ما قبل البراديغم إلى فترة ما بعده في مسار تطور الحقل العلمي. وذلك الانتقال هو الذي عرضته أعلاه في الفقرة رقم 2. وقبل أن يحدث، وُجِدَ عدد من المدارس التي تنافست بهدف السيطرة على حقل مفترض. وبعد ذلك، وبظهور إنجاز علمي بارز ما، يتناقص عدد المدارس كثيراً، ويصل عادة إلى مدرسة واحدة، ويبدأ نمط من الممارسة العلمية أكثر كفاءة. وهو نمط متخصص بشكل عام، وموجَّه لحلّ الأحجيات، وذلك لأن عمل المجموعة لا يكون ممكناً إلا عندما يسلّم أعضاؤها بالأسس التي يقوم عليها حقلهم.

إن طبيعة ذلك الانتقال إلى النضج تستحق مناقشة أوفى مما

[179] حصل في هذا الكتاب، وبخاصة من أولئك المعنيين بتطور العلوم الاجتماعية المعاصرة. وللوصول إلى تلك الغاية، قد تساعد الملاحظة بأن الانتقال لا يحتاج (وأنا الآن أعتقد بأنه لا يجب) أن يُربط بأول اكتساب لبراديغم. إن أعضاء كل المتحدات العلمية، ومن بينها مدارس فترة «ما قبل البراديغم»، يشتركون في أنواع العناصر التي كنت قد وصفتها وصفاً جماعياً بأنها «براديغم». فما تغير مع الانتقال إلى النضج ليس وجود براديغم بل هو تغير في طبيعة البراديغم. ولا يصير البحث العادي المختص بحل الأحجيات ممكناً إلا بعد حصول هذا التغيير. وإن صفات كثيرة للعلم المتطور التي ربطتها، فيما تقدم، باكتساب البراديغم، سوف أناقشها الآن على أنها نتائج لاكتساب نوع من البراديغم يحدِّد الأحجيات المتحدية، ويزوِّد بإشارات تتعلق بحلها، ويضمن فعلياً نجاح الممارس الذكي. وهؤلاء الذين تشجعوا من مشاهدتهم أن لحقلهم (أو مدرستهم) براديغمات، هم وحدهم القادرون على الشعور بأن شيئاً مهماً ضحّى به التغيير.

الموضوع الثاني، وهو أكثر أهمية عند المؤرخين على الأقل، يختص بالمطابقة الضمنية، التي يجريها هذا الكتاب ما بين المتحدات العلمية والمواد العلمية. فلقد تصرفت، مراراً، كما لو أن «البصريات الفيزيائية»، و«الكهرباء»، و«الحرارة»، على سبيل المثال، يجب أن تسمي متحدات علمية لأنها تسمي مواد علمية للبحث. وبدا أن البديل الوحيد الذي أجازه نصّي هو فكرة أن كل هذه المواضيع تنتمي إلى متَّحد علم الفيزياء. غير أن مطابقات من ذلك النوع لا تقدر، على كل حال، أن تقاوم الفحص عادة، كما أشار تكراراً إلى ذلك زملائي في علم التاريخ. فمثلاً، لم يوجد متحد لعلم الفيزياء قبل منتصف القرن التاسع عشر، وقد تشكل آنذاك من دمج جزأين من متحدين منفصلين سابقين وهما متَّحد الرياضيات ومتَّحد الفلسفة الطبيعية

(الفيزياء التجريبية). وما هو اليوم مادة علمية لمتحد عريض واحد كان في الماضي موزعاً بشكل متفاوت على متحدات مختلفة. وهناك مواد أخرى أضيق، كالحرارة ونظرية المادة مثلاً، دامت لفترات طويلة من دون أن تصير منطقة خاصة لأي متحد علمي منفرد. وعلى كل حال، فإن العلم العادي والثورات، كلاهما، نشاطان أساساهما واحد، وهو المتحد. ولاكتشافهما وتحليلهما لا بد للمرء من أن يبدأ بفك لغز بنية العلوم المتحدية المتغيرة عبر الزمن. البراديغم لا يحكم [180] المادة العلمية في أول الأمر، وإنما مجموعة الممارسين. فأي درس لبحث موجّه ببراديغم أو بحث تَحَطُّمِ براديغم يجب أن يبدأ بتعيين المجموعة أو المجموعات المسؤولة.

وعندما تكون مقاربة تحليل التطور العلمي بتلك الطريقة، فمن المحتمل أن تختفي صعوبات عديدة كانت المراكز التي توجه إليها النقد. فعلى سبيل المثال، استخدم عدد من المعلّقين نظرية المادة ليوحي بأني بالغت كثيراً في وصفي إجماع العلماء في مسألة ولائهم لبراديغم. وهم يشيرون إلى أن تلك النظريات كانت إلى زمن ليس ببعيد، مواضيع خلاف وجدل مستمرين. وإني أوافق على هذا الوصف إلا أني لا أعتقد أنه يشكل مثلاً داحضاً لرأيي. إذ إن نظريات المادة لم تكن، وعلى الأقل حتى عام 1920 تقريباً، المنطقة الخاصة أو مادة الدرس لأي متحد علمي. وبدلاً من ذلك، كانت أدوات لعدد كبير من مجموعات الاختصاصيين. وأحياناً، كان أعضاء من متحدات مختلفة يختارون أدوات مختلفة وينتقدون اختيار الآخرين. والأهم هو أن نظرية في المادة ليست ذلك النوع من المواضيع الذي يجب أن يتفق حوله حتى أفراد متحد بعينه. فالحاجة إلى الاتفاق تعتمد على ما يفعل المتحد. وعلم الكيمياء في النصف الأول من القرن التاسع عشر يوفر لنا حالة ذات صلة بالموضوع. فبالرغم من أن

العديد من الأدوات الأساسية للمتحد - مثل النسب الثابتة، والنسب المتضاعفة، وأوزان التركيب - قد صار ملكية مشتركة نتيجة لنظرية دالتون الذرية، فقد ظل بإمكان الكيميائيين، بعد حصول ذلك، أن يقيموا عملهم على أساس هذه الأدوات وأن يختلفوا، وبشدة أحياناً، حول مسألة الذرات.

وهناك صعوبات أخرى وحالات من سوء الفهم أعتقد أنها سوف تنحلّ بالطريقة نفسها. فلقد استنتج نفر قليل من قرّاء هذا الكتاب أن اهتمام كان اهتماماً رئيساً وحصرياً بالثورات الكبرى مثل تلك المرتبطة بكوبرنيكوس، أو نيوتن، أو داروين، أو إينشتاين، ومردّ ذلك يعود، جزئياً، إلى الأمثلة التي انتقيتها، وفي بعضه الآخر إلى غموض في الكلام على طبيعة وحجم المتحدات ذات الصلة. وإن وصفاً تمثيلياً أوضح لبنية المتحد لا بد له أن يساعد على فرض انطباع مختلف كنت قد حاولت إيجاده. فالثورة عندي هي نوع خاص [181] من التغيير يشمل نوعاً معيناً من إعادة بناء التزامات جماعية. وهي لا تحتاج إلى أن تكون تغييراً كبيراً، كما أنها لا تحتاج إلى أن تبدو ثورية لمن هم خارج متحد بعينه قد يتألف من أقل من خمسة وعشرين شخصاً. ولأن هذا النمط من التغير، الذي لا يعرف ولا يناقش إلا قليلاً في أدب فلسفة العلم، يحدث بانتظام على نطاق أضيق من نطاق التغير التراكمي، فإنه بأشد الحاجة إلى فهمه.

هناك تغيير أخير ذو علاقة وثيقة بالسابق يمكنه أن يسهل ذلك الفهم. لقد شكك عدد من النقاد بمسألة ما إذا كانت الأزمة، وهي الوعي المشترك بأن شيئاً ما قد تعرض للخطأ، تسبق الثورات دائماً كما ذكرت بصورة ضمنية في النص الأصلي للكتاب. لكن لا شيء ذا أهمية لحجتي يعتمد على فكرة أن الأزمات هي الشرط المطلق الذي يجب أن يسبق الثورات. فالأزمات لا تحتاج إلى أن تكون أكثر من

مقدمة عادية تقدم آلية تصحيح ذاتي يؤمّن حالة مفادها أن جمود العلم العادي لن يبقى، وإلى الأبد، من دون تحدٍّ. ويمكن أن تثار الثورات بطرق أخرى، ولكن حدوث ذلك نادر كما أعتقد. وزيادة على ذلك، أود الآن أن أشير إلى ما أخفاه غياب مناقشة كافية لبنية المتحد، أعلاه: وهو أن الأزمات لا تحتاج إلى أن تكون من توليد عمل المتحد الذي يختبرها والذي يقوم، أحياناً، بثورة كنتيجة لها. فأدوات جديدة مثل مجهر الإلكترون أو قوانين جديدة مثل قوانين ماكسويل يمكن أن تتطور في أحد الاختصاصات كما يمكن أن يسبب تَمَثُّلها أزمة في اختصاص آخر.

2- البراديغمات كمنظومة من الالتزامات الجماعية

لنتحوّل الآن إلى موضوع البراديغمات ولنتساءل عن ماهيتها. إن نصّي الأصلي لم يترك وراءه مسألة أكثر غموضاً أو أكثر أهمية من هذه المسألة. فقد أعدَّ أحد القراء المتعاطفين معي فهرساً تحليلياً جزئياً ومنه استنتج أن هذا المصطلح استعمل بطرق مختلفة بلغت اثنين وعشرين على الأقل[7]، وهذا القارئ يشاركني في اعتقادي أن «البراديغم» يشمل باسمه العناصر الفلسفية الرئيسة للكتاب. وأعتقد الآن أن معظم تلك الفروقات مردّها إلى تناقضات تتعلق بالأسلوب (مثل القول بأن قوانين نيوتن هي أحياناً براديغم، وأحياناً أجزاء من براديغم، وأحياناً أخرى ذات علاقة ببراديغم)، ويمكن إزالتها بسهولة [182] نسبية. ولكن، يبقى بعد إجراء ذلك، استعمالان للمصطلح مختلفان اختلافاً كبيراً ويقتضي فصلهما. الاستعمال العام هو موضوع هذه الفقرة، أما الاستعمال الآخر فسيُنْظر فيه في الفقرة التالية.

(7) Masterman, «The Nature of a Paradigm».

بعد عزل متَّحد خاص من الاختصاصيين بواسطة تقنيات مثل تلك التي نوقشت، يمكن المرء أن يسأل سؤالاً مفيداً وهو: ما هو المشترك بين أعضائه الذي يشرح الكمال النسبي لاتصالاتهم المهنية والإجماع النسبي في أحكامهم المهنية؟ والنصّ الأصلي لكتابي يجيز الجواب الآتي عن السؤال: إنه البراديغم أو مجموعة من البراديغمات. غير أن المصطلح ليس مناسباً لهذا الاستعمال، خلافاً للاستعمال الذي سوف يناقَش أدناه. ويودّ العلماء أن يقولوا إنهم يشتركون في نظرية أو في مجموعة من النظريات، وسوف يسعدني إذا أمكن في النهاية استعمال المصطلح مثل ذلك. غير أن النظرية، وفقاً لاستعمالها الجاري في فلسفة العلم، تعني بنية ذات طبيعة ونطاق محدودين أكثر بكثير من المعنى المطلوب هنا. وإلى أن يتمَّ تحرير المصطلح من مدلولاته الضمنية القائمة، فإن تبنّي مصطلح آخر يفيد في تجنب حالة الغموض الفكري. وإني أقترح، في ضوء أهدافنا الحالية، مصطلح «مصفوفة ذات إطار نظامي»: فهي «ذات إطار نظامي» لأنها تشير إلى حيازة الممارسين المشتركة على نظام خاص، وهي «مصفوفة» لأنها تتألف من عناصر منظمة من أنواع عدة، وكل واحد منها يتطلب مزيداً من التحديد. وإن كل أو معظم الأشياء التي حصل التزام جماعي بها، والتي وصفها نصّي الأصلي بأنها براديغمات، أو أجزاء من براديغمات، أو ذات علاقة ببراديغم، هي مكونات مصفوفة ذات إطار نظامي، وهي تؤلف باعتبارها كذلك كلاً واحداً وتعمل معاً. إلا أنها لن تُناقش أبعد من ذلك كما لو أنها كلٌّ واحد. ولن أحاول هنا وضع قائمة شاملة، ولكن ملاحظة الأنواع الرئيسة لمكونات المصفوفة ذات الإطار النظامي سوف توضح طبيعة مقاربتي الحالية، وتهيئ في الوقت نفسه، لفكرتي الرئيسة التالية.

سأسمّي أحد أنواع المكونات المهمة «التعميمات الرمزية»،

وإني أفعل ذلك وفي ذهني تلك التعابير المستخدمة من دون أي شك أو خلاف من قبل أعضاء المجموعة، التي يمكن وضعها في صورة منطقية مثل (x) (y) (z) Ø (x, y, z). فهي المكونات الصورية أو المكونات القابلة للصياغة بصورة مباشرة للمصفوفة ذات الإطار النظامي. وهي توجد أحياناً في صورة رمزية، مثل: $f = ma$ أو [183] $I = V/R$. وهناك مكونات أخرى يُعبَّر عنها عادة بالكلمات مثل: «تتحد العناصر بنسب ثابتة من الأوزان»، أو «الفعل يساوي رد الفعل». ولو لم تحصل موافقة عامة على تعابير مثل هذه، فلن توجد نقاط يطبق عليها أعضاء المجموعة التقنيات القوية للاستعمالات المنطقية والرياضية في مشروعهم لحل الأحجيات. ومع أن مثل علم التصنيف يقدم فكرة مفادها أن العلم العادي يمكنه أن يشرع انطلاقاً من تعابير قليلة كهذه، فإن قوة العلم يبدو أنها تزداد، بصورة عامة، مع تزايد عدد التعميمات الرمزية التي تكون في متناول ممارسيه.

وتشبه هذه التعميمات قوانين الطبيعة، لكن وظيفتها لدى أعضاء المجموعة ليست غالباً كذلك. فأحياناً قد تكون على صورة قانون ليس إلا، وعلى سبيل المثال، قانون جول ـ لنز (Joule-Lenz)، $H = RI^2$. فعندما اكتشف ذلك القانون، كان أعضاء المتحد على معرفة سابقة بما تمثله الحروف I, R, H، وقد أفادتهم هذه التعميمات ببساطة بإخبارهم بشيء عن سلوك الحرارة، والتيار الكهربائي، ومقاومة السلك الناقل للتيار، لم يكونوا يعرفونه من قبل. ولكن التعميمات الرمزية تخدم بأدائها وظيفة ثانية، وهي وظيفة جرت العادة على فصلها فصلاً حادّاً في تحليلات فلاسفة العلم. فكلا القانونين $f = ma$ أو $I = V/R$ يقومان جزئياً بوظيفة كقوانين، ولكنهما يقومان جزئياً كتعريفات لبعض الرموز التي يستخدمانها. وزيادة على ذلك، فإن التوازن بين قوتيهما القانونية والتعريفية يتبدل

مع الزمن. وهذه النقاط تحتاج، في سياق آخر إلى تحليل تفصيلي، لأن الالتزام بقانون يختلف كثيراً عن الالتزام بتعريف. فالقوانين غالباً ما تكون قابلة للتصحيح جزءاً جزءاً، لكن التعاريف، ولأنها من نوع تحصيل الحاصل، ليست كذلك. فعلى سبيل المثال، كان بعض ما تطلّبه قبول قانون أوم (Ohm) هو إعادة تعريف كلّ من «التيار» و«المقاومة»، ولو بقي لهذين المصطلحين معناهما السابقان، لما كان ممكناً أن يكون قانون أوم صحيحاً، وهذا هو السبب في معارضته معارضة شديدة بخلاف قانون جول ـ لنز(8). وقد يكون ذلك الوضع نمطياً. واني أظن في الوقت الحاضر بأن كل الثورات تنطوي، من [184] بين أمور أخرى، على التخلي عن تعميمات كان لها في الماضي وفي جزء منها قوة قضايا تحليلية. فهل بيَّن إينشتاين أن التزامن نسبي أو غيَّر مفهوم التزامن ذاته؟ وهل كان أولئك الذين شعروا بوجود مفارقة عندما سمعوا عبارة «نسبية التزامن» مخطئون بكل بساطة؟

لننظرْ بعد ذلك في نوع ثانٍ من مكوِّنات المصفوفة ذات الإطار النظامي، وهو المكوِّن الذي قيل عنه الكثير في نصّي الأصلي تحت عناوين مثل «البراديغمات الميتافيزيقية» أو «الأجزاء الميتافيزيقية للبراديغمات». وقد شاركت بعقلي بالالتزامات بمعتقدات مثل: إن الحرارة هي الطاقة الحركية للأجزاء المكونة للأجسام، أو إن مَرَدُّ كل الظواهر المدركة إدراكاً حسياً هو تفاعل ذرات من النوع المحايد في الفراغ، أو مردّها المادة والقوة، أو الحقول العلمية. وبإعادتي تأليف

---

(8) للحصول على أجزاء مهمة عن هذه الحادثة المرويّة، انظر: M. Brown, «The Electric Current in Early Nineteenth-Century French Physics,» *Historical Studies in the Physical Sciences* (Berkeley), vol. 1 (1969), pp. 61-103, and Morton Schagrin, «Resistance to Ohm's Law,» *American Journal of Physics* (New York), vol. 31, Issue 7 (1963), pp. 536-547.

الكتاب الآن، فإني أود أن أصف مثل هذه الالتزامات بأنها معتقدات ببراديغمات خاصة، وأود أو أوسع مقولة براديغمات لتشمل نوعاً يحثّ على البحث بصورة نسبية، مثل: يمكن اعتبار الدارة الكهربائية نظاماً هيدروديناميًا في حالة ثابتة، أو إن جزيئات الغاز تسلك سلوكاً يشابه سلوك كرات البلياردو الصغيرة المرنة في حركة عشوائية. ومع أن قوة الالتزام الجماعي تتغير، ويكون للتغير نتائج يعتدّ بها على طول طيف البراديغمات، بدءاً من تلك الحاثة على البحث إلى النوع الأنطولوجي، فإن للبراديغمات كلها وظائف متشابهة. وهي تقدم للمجموعة، من بين أشياء أخرى، مماثلات وتشابيه من النوع المفضل والمسموح به. وبذلك تساعد في تحديد ما سوف يقبل كشرحٍ وكحلٍّ لأحجية، ويمكن العكس والقول إنها تساعد في تحديد قائمةٍ بالأحجيات غير المحلولة وفي تقييم كل واحدة منها. غير أنه تجب الملاحظة أن أعضاء المتحدات العلمية قد لا يشتركون حتى في البراديغمات التي تحث على البحث، بالرغم من أن اشتراكهم يحصل في العادة. ولقد أشرت في السابق إلى أن العضوية في متحد الكيميائيين، خلال النصف الأول من القرن التاسع عشر، لم يشتَرط فيها الاعتقاد بوجود الذّرات.

أما النوع الثالث من عناصر المصفوفة ذات الإطار النظامي فإني أصفه هنا بأنه القيم. وعادة يكون الاشتراك فيها أوسع في المتحدات المختلفة منه في كل من التعميمات الرمزية أو البراديغمات، وهي تفعل الكثير لتوفير حسٍّ اجتماعي لعلماء الطبيعة ككل. ومع أنها تؤدي وظيفتها في كل الأوقات، إلا أن أهميتها الخاصة تظهر عندما [185] يتحتم على أعضاء متَّحد بعينه أن يحددوا أزمة أو، يختاروا، في ما بعد، طريقة لممارسة نظامهم من بين طريقتين متناقضتين. ومن المحتمل أن يكون أكثر القيم رسوخاً في النفس ما يتعلق منها بالتنبؤات: فهذه يجب أن تكون دقيقة، والتنبؤات الكمّية مفضلة على

التنبؤات الكيفية، ومهما كان هامش الخطأ المسموح به يجب أن يظل ثابتاً في حلٍّ بعينه، وهكذا. ثم إن هناك قيماً يستفاد منها في الحكم على نظريات برمّتها: فهذه يجب، وقبل كل شيء وأي شيء، أن تسمح بصياغة أحجيات وبحلها، وحيثما أمكن يجب أن تكون بسيطة ومتماسكة تماسكاً منطقياً ذاتياً ومعقولة ومتسقة مع النظريات الأخرى الجاري استعمالها في زمانها. (وفي اعتقادي الآن أن هناك ضعفاً في نصّي الأصلي، وهو أني لم أوجِّه سوى انتباهٍ قليل إلى قيم الاتساق المنطقي الذاتي والخارجي عندما كنت أنظر في مصادر الأزمة وعوامل اختيار النظرية). وهناك أنواع أخرى من القيم أيضاً ـ مثلاً، ليس من الضروري (أو لا حاجة) لأن يكون العلم مفيداً اجتماعياً ـ ولكن لا بد لما سبق ذكره أن يدل على ما يدور في خلدي.

غير أن من المؤكد أن ناحية واحدة من القيم المشتركة تتطلب ذكراً خاصاً. فالقيم يمكن أن يشارك بها رجال مختلفون في تطبيقاتهم على نطاق أوسع من أنواع المكونات الأخرى للمصفوفة ذات الإطار النظامي. فالأحكام المتعلقة بالدقة ثابتة نسبياً، وإن لم تكن كلياً كذلك، فلا تتغير من وقت إلى آخر، ومن عضوٍ إلى آخر في مجموعة معينة. ولكن الأحكام المتعلقة بالبساطة، والاتساق المنطقي، والمعقولية، وما شابه، تتغير كثيراً من فرد إلى آخر. فما بدا لإينشتاين عدم اتساق لا دعم له في نظرية الكَمّ القديمة، وهو اعدم اتساق الذي جعل متابعة العلم العادي مستحيلة، بدا لبور وآخرين صعوبة يمكن إيجاد حلّ لها بوسائل عادية. والأهم من ذلك هو أنه في تلك المواقف حيث يقتضي تطبيق القيم، فإن القيم المختلفة، إذا ما أخذت وحدها، تفرض اختيارات مختلفة. فقد تكون إحدى النظريات أكثر دقة لكنها أقل اتساقاً أو أقل معقولية من أخرى، ونظرية الكَمّ القديمة توفِّر للمرة الثانية مثلاً على ذلك. وبإيجاز نقول إنه مع أن القيم مشتركة على نطاق واسع من قبل

العلماء، ومع أن الالتزام بها عميق ومؤلف للعلم، فإن تطبيق القيم يتأثر بشكل ملحوظ أحياناً بصفات الشخصية الفردية وسيرة حياته، وهما الصفات والسيرة اللتان تمايزان بين أعضاء المجموعة.

[186] ولقد بدا لكثير من قراء الفصول السابقة أن هذه الخاصية لعمل القيم المشتركة تشكل ضعفاً خطيراً في موقفي. فقد اتهمت، من حين إلى آخر، بتمجيد الذاتية وحتى اللامعقولية، وذلك لأني كنت ألحُّ على أن ما يشترك فيه العلماء ليس كافياً لفرض قبول متسق حول أمور مثل الاختيار بين نظريتين متنافستين أو التمييز بين حالة عدم توقع عادية وحالة مثيرة لأزمة[9]. لكن رد الفعل ذاك يتجاهل خاصيتين تظهرهما أحكام القيم في أي حقل. الأولى، هي أن القيم المشتركة يمكن أن تكون محددات مهمة لسلوك الجماعة حتى ولو لم يطبقها أعضاء المجموعة جميعهم بالطريقة نفسها. (وإذا افترضنا أن الحالة ليست كذلك، فلن تكون هناك مشكلات فلسفية **خاصة** تختص بنظرية القيم أو علم الجمال). فلم يرسم الناس بالألوان مثل بعضهم البعض خلال الفترات التي كان فيها تمثيل الأشياء قيمة أولى، فقد تغير النمط التطوري للفنون التشكيلية المبدعة تغيراً كبيراً عندما حصل التخلي عن تلك القيمة[10]. فلتتخيلْ ما سيحل بالعلوم لو لم يعد الاتساق المنطقي قيمة أولى. أما الخاصية الثانية، فهي أن

---

(9) أنظر بوجه خاص: Dudley Shapere, «Meaning and Scientific Change,» in: Herbert A. Simon [et al.], *Mind and Cosmos; Essays in Contemporary Science and Philosophy*, Edited by Robert G. Colodny, University of Pittsburgh Series in the Philosophy of Science; v. 3 (Pittsburgh: [University of Pittsburgh Press], 1966), pp. 41-85, and Israel Scheffler, *Science and Subjectivity* (New York: [Bobbs Merrill Co., Inc.], 1967);

وأيضاً مقالات بوبر ولاكاتوس (Imre Lakatos) في: *Criticism and the Growth of Knowledge*.

(10) انظر المناقشة في بداية الفصل الثامن من هذا الكتاب.

تباين الأفراد في تطبيق القيم المشتركة يمكن أن يخدم وظائف جوهرية للعلم. والنقاط التي يجب تطبيق القيم عليها هي ذاتها النقاط التي يجب المخاطرة عندها. فمعظم حالات عدم التوقع تُحَلّ بوسائل عادية، ومعظم اقتراحات نظريات جديدة يثبت خطؤها. وإذا استجاب جميع أعضاء متحد لكل حالة عدم توقع معتبرين إياها مصدراً لأزمة، أو جميعهم احتضنوا كل نظرية جديدة يقدمها زميل، فإن العلم سيتوقف. ومن جهة أخرى، إذا لم يستجبْ أحد لحالات عدم التوقع أو تجاه نظريات جديدة كل الجدة بطرق فيها الكثير من المجازفات، فلن يكون هناك سوى عدد قليل من الثورات أو ينعدم وجودها تماماً. ففي أمور كهذه يمكن أن يكون اللجوء إلى قيم مشتركة، بدلاً من قواعد مشتركة تحكم اختيار الفرد هو سبيل المتحد في توزيع المخاطرة، وضمان نجاح مشروعها في المدى الطويل.

لنتحولْ الآن إلى نوع رابع من عناصر المصفوفة ذات الإطار النظامي، وهو ليس النوع الأخير الوحيد، لكنه الأخير الذي سأناقشه هنا. فبالنسبة إلى هذا النوع يكون مصطلح «البراديغم» مناسباً بصورة كلية من الناحيتين الفقهية اللغوية والسيرة الذاتية، وهذا النوع هو [187] مكون الالتزامات المشتركة للمجموعة الذي قادني إلى اختيار تلك الكلمة. ولأن هذا المصطلح قد اتخذ حياة خاصة به، فإني سأستبدله هنا بمصطلح «الأمثلة التوضيحية». وأعني بذلك بدايةً، حلول المشكلات المادية التي يواجهها الطلاب في مطلع بداية تربيتهم العلمية، سواء أكانت في المختبرات أم في الامتحانات أم في نهايات فصول كتبهم العلمية الدراسية. وإلى هذه الأمثلة المشتركة يجب إضافة، وفي الحد الأدنى على الأقل، بعض حلول المشكلات التقنية الموجودة في أدب الدوريات، التي يواجهها العلماء خلال حيواتهم البحثية اللاحقة لتعلمهم، والتي تُظْهِر لهم أيضاً بالأمثلة كيف يجب

القيام بعملهم. إن التباين بين مجموعات الأمثلة التوضيحية هو الذي يوفر البنية الدقيقة لمتحد العلم أكثر من المكونات الأخرى للشبكة النظامية. فكل الفيزيائيين، على سبيل المثال، يبدأون بتعلم الأمثلة التوضيحية ذاتها: مثل مشكلات السطح المستوي المائل، والنواس المخروطي الشكل، ومدارات كبلر (Keplerian Orbits) الفلكية، وأدوات، مثل المقياس الصغير المنزلق على تدريجات رقمية، ومقياس الطاقة الحرارية، وجسر ويتستون. ومع تطور تدريبهم يتزايد توضيح التعميمات الرمزية التي يشتركون فيها بواسطة أمثلة توضيحية مختلفة. وعلى الرغم من أن علماء فيزياء الحالة الصلبة وعلماء فيزياء الحقل النظري يشتركون بمعادلة شرودنغر، فإن المشترك عند المجموعتين ليس إلا التطبيقات العلمية الأكثر ابتدائية.

3- البراديغمات كأمثلة توضيحية مشتركة

البراديغم كمثل توضيحي مشترك هو العنصر المركزي لما أعتبره الآن الناحية الأكثر جدّة والأقل فهماً في الكتاب. لذا، فإن الأمثلة التوضيحية تقتضي انتباهاً أكثر مما تقتضيه الأنواع الأخرى من مكونات المصفوفة ذات الإطار النظامي. لم تجرِ العادة أن يناقش فلاسفة العلم المشكلات التي يواجهها الطلاب في المختبرات أو في الكتب العلمية الدراسية، نظراً إلى الاعتقاد بأن هذه تقدم تدريباً فقط على تطبيق ما كان الطالب قد عرفه سابقاً. فقد قيل، إن الطالب لا يقدر على حل مشكلات إطلاقاً ما لم يتعلم أولاً النظرية وبعض قواعد تطبيقها. فالمعرفة العلمية تكمن في النظرية والقواعد، والمشكلات تُقَدَّم لاكتساب سهولة في تطبيقها. إلا أني حاولت أن أناقش فكرة أن هذا التحديد المكاني للمحتوى المعرفي للعلم هو [188] تحديد خاطئ. وبعد أن يحل الطالب مشكلات كثيرة، فإنه لن يكتسب سوى سهولة إضافية في العمل بحله مزيداً من المشكلات.

ولكن في البداية، ولبعض الوقت، فإن العمل في المشكلات هو لتعلم أشياء مهمة عن الطبيعة. ومن دون هذه الأمثلة التوضيحية، فإن القوانين والنظريات التي كان قد درسها في السابق ستكون ذات محتوى حسي قليل.

ولكي أدل على ما يجري في خاطري، سأعود باختصار إلى التعميمات الرمزية. لقد كان أحد الأمثلة المشتركة اشتراكاً واسعاً قانون الحركة الثاني لنيوتن، الذي يُكتب بصورة عامة على هذا النحو: f = ma. فعالم الاجتماع مثلاً أو عالم اللغة، الذي يكتشف أن التعبير المقابل قد نطق به وقبله أعضاء متحد مفترضة، لن يعلم كثيراً عما يعنيه التعبير أو تعنيه مفرداته، ولا عن كيفية ربط علماء المتحد هذا التعبير بالطبيعة، من دون بحث إضافي كثير. والواقع هو أن حقيقة قبولهم له بلا تردد، واستعمالهم له كنقطة يقدمون عندها الاستعمالات المنطقية والرياضية، لا يتضمن، بحد ذاته تضمناً منطقياً أنهم موافقون تماماً على كل الأمور مثل المعنى والتطبيق. وبالطبع، فهم متفقون إلى درجة مهمة، وإلا فإن الحقيقة ستظهر، وبسرعة في محادثاتهم اللاحقة. لكن يمكن المرء أن يسأل عند أي نقطة وبأي وسيلة حققوا ذلك. كيف تعلموا، وهم يواجهون موقفاً تجريبياً مفترضاً، أن يختاروا مصطلحات القوى، والكتل، والتسارعات؟

ومع أن هذه الناحية من الموقف قلما تلاحظ أو لا تلاحظ أبداً في الممارسة، فإن الذي يجب أن يتعلمه الطلاب هو أكثر تعقيداً من ذلك. فالحالة ليست تماماً حالة استعمال للمنطق والرياضيات مطبق مباشرة على الصيغة f = ma. فذلك التعبير برهن تحت الفحص على أنه ترسيم قانون أو خطة قانون عامة. وحالما ينتقل الطالب أو العالم الممارس من موقف إشكالي إلى تاليه، فإن التعميمات الرمزية التي تطبق عليها هذه الاستعمالات تتغير. فبالنسبة إلى حالة سقوط

الأجسام يصبح القانون f = ma على النحو التالي $mg = m\frac{d^2s}{dt^2}$،
وبالنسبة إلى النواس البسيط يتحول إلى $mg \sin Ø = -ml\frac{d^2Ø}{dt^2}$،
وبالنسبة إلى آلتيْ اهتزاز موسيقيتين متفاعلتين يصبح معادلتين، يمكن
كتابة إحداهما على الشكل $m_1\frac{d^2s_1}{dt^2} + k_1s_1 = k_2(s_2 - s_1 + d)$، [189]
وبالنسبة إلى مواقف أكثر تعقيداً مثل الجيروسكوب الذي يأخذ
أشكالاً أخرى ويكون اكتشاف التشابه بين مجموعها والصيغة f = ma
أكثر صعوبة. ومع ذلك، فإن الطالب، وهو يتعلم تحديد القوى،
والكتل، والتسارعات في مواقف فيزيائية مختلفة لم يسبق له أن
واجهها، يكون قد تعلم أيضاً تصميم النسخة المناسبة من الصيغة
f = ma التي تربط ما بينها، وغالباً في ما تكون من النوع الذي لم
يواجه معادلاً حرفياً له من قبل. فكيف تعلّم أن يقوم بهذا؟

هناك ظاهرة تشكل مفتاحاً للإجابة، وهي مألوفة عند طلاب
العلم ومؤرخيه. فالطلاب يذكرون وبانتظام أنهم قرأوا فصلاً من
كتابهم الدراسي، وأنهم فهموه فهماً كاملاً، ومع ذلك يستصعبون
حل عدد من المسائل الموجودة في نهاية الفصل. وقد جرت العادة،
أيضاً، أن تنحل تلك الصعوبات بالطريقة نفسها. ويكتشف الطالب،
بمساعدة معلمه أو من دونها، طريقة ليرى مشكلته **مثل** مشكلة كان
قد واجهها من قبل. وبرؤيته التشابه، وإدراكه المماثلة بين مشكلتين
متمايزتين أو أكثر، يمكنه أن يربط الرموز بعضها ببعض ويصلها
بالطبيعة بالطرق التي أثبتت فعاليتها من قبل. فالترسيم القانوني،
ولينقُل f = ma، قام بوظيفة أداة أعلمت الطالب عن حالات التشابه
التي عليه أن يبحث عنها، ودلته على الصورة الكلية الجشطالتية التي
عليه أن يرى الموقف فيها. وفي اعتقادي أن القدرة الناتجة عن رؤية
المواقف المختلفة وكأنها يشبه بعضها البعض، أي كأنها موضوعات
للقانون f = ma أو لأي تعميم رمزي آخر، هي، وكما افتكر،

الشيء الرئيسي الذي يكتسبه الطالب بعمله في مشكلات من نوع الأمثلة التوضيحية، سواء أنجز عمله بقلم رصاص وورقة أو في مختبر حسن التصميم. وبعد أن يكمل الطالب عدداً معيناً من المشكلات قد يختلف اختلافاً واسعاً من فرد إلى آخر، فإنه ينظر إلى المواقف التي تواجهه كعالم فيراها في الصورة الكلية الجشطالتية نفسها مثل أعضاء مجموعته من الاختصاصيين الآخرين. فلا تبدو هذه المواقف بعد ذلك مثلما بدت له عندما واجهها في بداية تدريبه. فلقد تمثل، في الوقت نفسه، طريقة في الرؤية خبرها الزمن وأجازتها المجموعة.

إن دور علاقات التشابه المكتسبة يظهر أيضاً بوضوح في تاريخ العلم. فالعلماء يحلّون الأحجيات بقياسها على براديغمات لحلول أحجيات سابقة، وغالباً ما يكون ذلك بواسطة لجوء قليل فقط إلى [190] التعميمات الرمزية. فقد وجد غاليليو أن كرة تتدحرج على سطح مستوٍ مائلٍ تكتسب ما يكفي من السرعة فقط لإعادتها إلى الارتفاع العمودي نفسه على سطح مستوٍ مائلٍ ثانٍ مهما كان انحداره، كما تعلم أن يرى ذلك الموقف التجريبي شبيهاً بالنوّاس الذي تكون كرته نقطة مادية. ثم حل هويغنز مشكّلة مركز اهتزاز نواس نقطي مادي بتخيله أن جسم الأخير ذا الامتداد يتألف من مجموعة كل واحد من عناصرها نواس من نوع نواس غاليليو، والروابط بينها يمكن فكها فوراً عند أي نقطة من حركة الاهتزاز. وبعد فك الروابط، يهتز كل نواس نقطي إفرادي بحريّة، لكن مركز جاذبية مجموعها، عندما يصل كل واحد منها إلى أعلى نقطة، لن يرتفع إلا إلى العلوّ الذي بدأ منه مركز جاذبية النواس ذي الجسم الممتد بالهبوط، تماماً مثل نواس غاليليو. وأخيراً اكتشف دانييل برنولي (Daniel Bernoulli) كيف يجعل تدفق الماء من فوّهةٍ مشابهاً لنواس هويغنز. كما حدد انحدار

مركز جاذبية الماء في الخزان خلال فترة زمنية متناهية الصغر. وتخيّل، بعد ذلك، أن كل جزيء من الماء يتحرك حركة منفصلة نحو الأعلى إلى أن يبلغ أقصى ما يمكن أن يصل إليه بالسرعة المكتسبة خلال تلك الفترة. وعندئذ لا بد أن يكون ارتفاع مركز جاذبية الجسيمات المفردة مساوياً لهبوط مركز جاذبية الماء في الخزان والأنبوب. ومن تلك النظرة إلى المشكلة نتج حلٌّ فوري لمشكلة سرعة الدفق التي طال البحث فيها(11).

لا بد أن يبدأ ذلك المثل بتوضيح ما أعنيه بالتعلّم من المشكلات لجهة رؤية المواقف متشابهة، وكموضوعات لتطبيق القانون العلمي ذاته أو ترسيم القانون. وفي الوقت نفسه لا بد له أن يظهر لماذا أشرت إلى أن المعرفة المهمة بالطبيعة المكتسبة خلال تعلم علاقة التشابه وبعد ذلك متجسدة في طريقة من طرق النظر إلى المواقف الفيزيائية أكثر منها في قواعد أو قوانين. والمشكلات الثلاث [191] الواردة في المثال، وكلها أمثلة توضيحية من علماء الميكانيك في القرن الثامن عشر، استخدمت قانوناً طبيعياً واحداً فقط. وعرف باسم مبدأ **القدرة على الحياة**، وعادة ما يصاغ على النحو التالي: «الهبوط

(11) انظر على سبيل المثال: René Dugas, *A History of Mechanics*, Foreword by Louis de Broglie; Translated into English by J. R. Maddox (Neuchatel: [Editions du Griffon], 1955), pp. 135-136 and 186-193, and Daniel Bernoulli, *Hydrodynamica sive de viribus et motibus fluidorum commentarii Opus Academicum* (Strasbourg: [Johann Reinhold Dulsseker], 1738), chap. iii.

ولمعرفة مدى تقدم الميكانيك في غضون النصف الأول من القرن الثامن عشر، عن طريق حل المسائل بموافقتها مع حلّ مسائل أخرى، انظر: Clifford Truesdell, «Reactions of Late Baroque Mechanics to Success, Conjecture, Error, and Failure in Newton's Principia,» *Texas Quarterly* (Austin), vol. 10 (1967), pp. 238-258.

بالفعل يساوي الصعود بالقوة». وإن تطبيق برنولي للقانون لا بد أن يوحي بمدى أهميته. ومع ذلك فإن الصياغة اللفظية للقانون، إذا ما نظر إليها في حد ذاتها، هي عقيمة في النهاية. قَدِّمْ هذه الصياغة لطالب فيزياء معاصر فسترى أنه يعرف الكلمات ويستطيع أن يحل كل هذه المشكلات، لكنه يستخدم الآن وسائل مختلفة. ثم تخيّلْ ما ستعني الكلمات إذا ما قيلت لرجل لا يعرف حتى المشكلات، مع أن الكلمات كلها معروفة جيداً. فبالنسبة إليه، لا يبدأ التعميم بتأدية وظيفته إلا عندما يتعلم أن يدرك أن «الهبوط بالفعل» و«الصعود بالقوة» هما مكوّنان طبيعيان، أي أن يتعلم شيئاً عن المواقف التي تعرضها الطبيعة، والتي لا تعرضها، قبل تعلمه القانون. ولا يكتسب ذلك النوع من التعلم بواسطة وسائل لفظية بصورة حصرية. بل يكون عندما يُعطى المرء كلمات ومعها تقدم أمثلة مادية عن كيفية تأديتها وظيفتها العملية، فالطبيعة والكلمات يُتَعَلَّمان معاً. وباستعارة عبارة مايكل بولاني (Michael Polany) المفيدة مرة أخرى، يمكن القول إن ما ينتج عن هذه العملية هو «معرفة ضمنية» تُتعلم بممارسة العلم أكثر من تحصيل قواعد عمل فيه.

4- المعرفة الضمنية والحدس

تلك الإشارة إلى المعرفة الضمنية والرفض الذي ترافق معها للقواعد حددا مشكلة أخرى أزعجت الكثيرين من نُقّادي وبدا أنها توفر أساساً لاتهامات بالذاتية واللامعقولية. فلقد شعر بعض القراء أني كنت أحاول إقامة العلم على حدوس فردية لا يمكن تحليلها وليس على المنطق والقانون. لكن ذلك التأويل ضلَّ من ناحيتين جوهريتين. أولاً، لو أني كنت أتحدث عن الحدوس، بشكل من الأشكال، فهي لم تكن فردية. بل الأحرى كانت من الممتلكات المختبرة والمشتركة لأعضاء مجموعة ناجحة، ويكتسبها المبتدئ بالتدريب كجزء من

إعداده لعضوية المجموعة. ثانياً، وهذه الحدوس ليست ممكنة التحليل من الناحية المبدئية. بل العكس، فأنا الآن أقوم بتجارب على [192] برنامج حاسوبي مصمَّم لدراسة صفات الحدوس على مستوى ابتدائي.

لن أقول شيئاً هنا عن ذلك البرنامج[12]. ولكن لا بد لمجرد ذكره أن يثبت أكثر نقاطي جوهرية. فعندما أتكلم عن وجود المعرفة في جسم الأمثلة التوضيحية المشتركة، فإني لا أشير إلى نمط من المعرفة هو أقل تنظيماً أو أقل قابلية للتحليل من المعرفة الموجودة في كيان القواعد، والقوانين، أو في معايير تحديد هوية الأشياء. فما يجول في خاطري، بدلاً من ذلك هو طريقة في المعرفة سوف يساء تأويلها إذا ما أعيدت صياغتها بلغة قواعد جُرِّدتْ في أول الأمر من الأمثلة التوضيحية، وراحت بعد ذلك تقوم بالوظيفة بدلاً منها. أو أقول، بتعبير مختلف عن النقطة ذاتها، إني عندما أتكلم عن اكتساب من الأمثلة التوضيحية للقدرة على إدراك موقف مفترض بأنه مشابه وغير مشابه لمواقف أخرى كان المرء قد رآها من قبل، فإني لا أكون بصدد اقتراح فكرة عملية لا يمكن توضيحها توضيحاً كاملاً بلغة الجهاز العصبي المخّي. وما أزعمه، بدلاً عن ذلك، هو أن التوضيح لا يجيب بطبيعته، عن السؤال: «مشابه بالنسبة إلى ماذا؟» وذلك السؤال هو طلب لقاعدة وهو في هذه الحالة التماس للمعايير التي تجمع بفضلها مواقف خاصة في مجموعات مشابهة، وأنا أناقش أن الإغراء الدافع إلى البحث عن معايير (أو عن مجموعة كاملة على الأقل) يجب مقاومته في هذه الحالة. غير أني لا أكون بذلك معترضاً

(12) يمكن الحصول على بعض المعلومات عن هذا الموضوع في: Kuhn, «Second Thoughts on Paradigms».

على نظام، بل على نوع خاص من النظام.

ولا بد لي للتعمق في تلك النقطة تعمقاً جوهرياً من أن أنحرف قليلاً عن الموضوع. وما سيتبع يبدو واضحاً لي الآن، غير أن اللجوء المستمر في نصّي الأصلي إلى عبارات مثل «العالم يتغير» يوحي بأنه لم يكن كذلك دائماً. فإذا وقف شخصان في المكان نفسه وحدّقا في الاتجاه نفسه، فلا بد أن نستنتج، رغم الأنانية، أنهما يتلقيان منبّهات متشابهة تشابهاً وثيقاً. (ولو كان بإمكانهما أن يضعا عيونهما في المكان نفسه، فإن المنبّهات ستكون متطابقة). لكن الناس لا يرون المنبّهات، ومعرفتنا بها هي على درجة عالية من النظرية والتجريد. وهم يملكون بدلاً منها الأحاسيس، وليس من شيء يجبرنا على الافتراض بأن أحاسيس هذين الناظرين متطابقة. (ويمكن أن يتذكر المشكِّكون أن عمى الألوان لم يكن ملاحَظاً في أي مكان إلى أن [193] وصفه جون دالتون في عام 1794). وعلى العكس، فإن الكثير من العمليات في الجهاز العصبي يحصل ما بين تلقّي المنبّه وإدراك الإحساس. ومن بين الأشياء القليلة التي نعرفها عنه معرفة مؤكدة ما يلي: أن منبّهات مختلفة كثيراً يمكن أن تنتج الإحساسات نفسها، وأن المؤثر نفسه يمكن أن ينتج أحاسيس مختلفة كثيراً، وأخيراً إن الطريق الممتدة من المنبّه إلى الإحساس هي بصورة جزئية مكيَّفة بالتربية. فالأفراد الذين نشأوا في مجتمعات مختلفة يسلكون، في بعض الأحيان، كما لو أنهم رأوا أشياء مختلفة. ولو لم نكن ميّالين بالإغراء إلى المطابقة ما بين المنبّهات والأحاسيس وفق علاقة واحد إلى واحد، لكان من الممكن أن ندرك أن هؤلاء الأفراد قد رأوا، فعلاً ما رأوا وبالشكل المختلف.

وتجدر الملاحظة الآن أن مجموعتين يكون لأعضائهما أحاسيس مختلفة بطريقة منتظمة عند تعرضهم للمنبّهات نفسها، تعيشان،

بمعنى من المعاني، في عالمين مختلفين. ونحن نفترض وجود المنبّهات لتوضيح إدراكاتنا الحسية للعالم، ونفترض أنها لا تتغير لتجنب النظرة الفردية والأنانية الاجتماعية. وليس عندي أقل تحفظ على أي من الإفتراضين. ولكن عالمنا، مسكون في المقام الأول بموضوعات أحاسيسنا وليس بالمنبّهات، وليس من الضروري أن يكونا متطابقين، تطابق الواحد للواحد أو المجموعة للمجموعة. وفي حدود انتماء الأفراد إلى المجموعة عينها بالطبع، ومشاركتهم في التربية، واللغة، والخبرة، والثقافة، فإن لدينا ما يبرر الافتراض بأن إحساساتهم متطابقة. وإلا، كيف لنا أن نفهم كمال اتصالاتهم وجماعية استجاباتهم السلوكية لبيئتهم؟ فلا بد أنهم يرون الأشياء، ويعالجون المنبّهات بالطرق ذاتها. ولكن حيث يبدأ التمايز بين المجموعات واختصاصها، فليس لدينا دليل مماثل على عدم تغير الإحساس. وإني أظن أن ضيق أفق التفكير هو الذي يجعلنا نفترض أن الطريق ما بين المنبّهات والإحساس هي ذاتها عند أعضاء كل المجموعات.

وبالعودة الآن إلى الأمثلة التوضيحية والقواعد، أقول إن ما كنت أحاول أن أقترحه، ولو بطريقة تمهيدية، هو هذا. إن إحدى التقنيات الجوهرية التي بواسطتها يتعلم أعضاء مجموعة، سواء أكانت مجموعة الثقافة كلها أم مجموعة فرعية من الاختصاصيين في داخلها، أن يروا الأشياء ذاتها عندما يواجَهون بالمنبّهات ذاتها، هو باطلاعهم على أمثلة من المواقف التي سبق أن تعلم أسلافهم في المجموعة أن يروها متشابهة ومختلفة عن أنواع أخرى من المواقف. [194] وقد تكون هذه المواقف المتشابهة عروضاً لأحاسيس متعاقبة للشخص نفسه ـ مثل الإحساس بالأم، التي تدرَك، في النهاية عند رؤيتها بوصفها كذلك بأنها مختلفة عن الأب أو الأخت. كما يمكن

هذه المواقف أن تكون عروضاً لأعضاء عائلات طبيعية، مثل البجع من جهة والأوزّ من جهة أخرى. ويمكن أن تبدو لأعضاء مجموعات أكثر اختصاصاً بمثابة أمثلة عن الموقف النيوتوني، أي عن مواقف متشابهة لأنها تخضع لنسخة من الصيغة الرمزية $f = ma$، ومختلفة عن تلك المواقف التي ينطبق عليها مثلاً ترسيمات قوانين علم البصريات.

لنسلِّمْ للحظةٍ أن شيئاً من هذا القبيل يحدث فعلياً. فهل يجب علينا أن نقول إن ما تمَّ اكتسابه من أمثلة التوضيح هو قواعد، والقدرة على تطبيقها؟ إن ذلك الوصف مغرٍ للقبول، لأن رؤيتنا موقفاً مشابهاً لمواقف سبق أن واجهناها من قبل لا بد أن يكون نتيجة معالجة جهاز عصبي محكوم كلياً بقوانين فيزيائية وكيميائية. وبهذا المعنى، فإنه حالما نتعلم أن نفعل ذلك، فإن إدراك التشابه لا بد أن يكون منظماً تماماً مثل خفقان قلوبنا. لكن ذلك التوازي ذاته يفيد أن الإدراك يمكن أن يكون لا إرادياً، أي عملية لا سيطرة لنا عليها. وإذا كان الأمر كذلك، تكون النتيجة أننا قد لا نتصوره، وبصورة صحيحة، على أنه شيء نقوم نحن بإدارته بتطبيق قواعد ومعايير. وإن الكلام عنه بتلك المصطلحات يتضمن فكرة وجود بدائل يمكننا الوصول إليها، وإننا على سبيل المثال نكون قد عصينا قاعدة أو أسأنا تطبيق معيار، أو أجرينا الاختبار بطريقة أخرى من الرؤية[13]. فهذه الأشياء أعتبرها فقط أنواع الأمور التي لا يمكننا القيام بها.

---

(13) لم يكن من حاجة إطلاقاً لذكر هذه النقطة لو كانت كل القوانين مثل قوانين نيوتن وكل القواعد مثل الوصايا العشر. ففي تلك الحالة تصبح عبارة «انتهاك القانون» بمثابة اللغو، ولن يبدو رفض القواعد متضمناً عملية غير محكومة بالقانون. ولكن لسوء الحظ، يمكن مخالفة قوانين السير وقوانين مماثلة، الأمر الذي يجعل الفوضى أمراً سهلاً.

أو نقول، بصورة أكثر دقة، إنَّ تلك أشياء لا نقدر أن نقوم بها ما لم يكن لدينا إحساس، أي قبل الإدراك الحسي لشيء. بعد ذلك نبحث عن معايير ونستعملها، وهذا هو ما نفعله في الغالب. ثم ننخرط في التفسير، أي في عملية تفكير، بها نختار بديلاً من بين البدائل، وهو الأمر الذي لا نفعله في حالة الإدراك الحسي ذاته. فمثلاً، قد يوجد شيء شاذ يتعلق بما رأينا (لنتذكرْ أوراق اللعب المتباينة). وربما بدوراننا حول منعطف طريق نرى أُمّاً تدخل مخزناً [195] لبيع السلع في وسط المدينة في وقت ظننا أنها كانت في المنزل. وبالتفكير بما قد رأيناه نصرخ فجأة، «تلك ليست أمنا، لأن لها شعراً أحمر». وبدخولنا المخزن نرى المرأة مرة ثانية ولا نستطيع أن نفهم لماذا اعتبرناها أماً. أو، قد نرى ريش ذيل أحد طيور الماء يلتقط طعامه من قاع بركة ضحلة. نتساءل هل هو بجعة أم إوزّة؟ ثم نفكر في ما رأينا مقارنين بطريقة عقلية ريش الذيل بريش ذيل البجع والإوز التي رأيناها من قبل. أو، لكوننا علماء طليعيين، قد نريد معرفة بعض الخصائص العامة (مثل بياض البجع، على سبيل المثال) لأعضاء عائلة طبيعية نقدر على معرفتها بسهولة. ومرة ثانية، نفكر بما كنا قد أدركناه إدراكاً حسياً من قبل، باحثين عمّا هو مشترك بين أعضاء العائلة المفترضة.

كل هذه العمليات فكرية، وفيها نبحث عن معايير وقواعد ونستخدمها. أي إننا نحاول تفسير أحاسيس كنا قد حصلنا عليها، وتحليل ما صار معطى بالنسبة إلينا. ومهما كانت كيفية عملنا ذلك، فإن العمليات الداخلة فيها لا بد أن تكون عمليات عصبية في النهاية، وبالتالي محكومة بالقوانين الفيزيائية الكيميائية نفسها التي تحكم الإدراك الحسي من جهة وخفقان قلوبنا من جهة أخرى. ولكن حقيقة أن النظام يخضع للقوانين ذاتها في كل الحالات الثلاث لا يوفر سبباً

للافتراض أن جهازنا العصبي مبرمج ليعمل بالطريقة نفسها في حالتي التفسير والإدراك الحسي، أو في أي منهما مثل خفقان قلوبنا. إن ما كنت أعارضه في هذا الكتاب هو محاولة تحليل الإدراك الحسّي (المحاولة التقليدية منذ ديكارت وليس قبله) على أنه عملية تأويل، وعلى أنه نسخة غير واعية عما نفعل بعد إدراكنا الحسي.

إن ما يجعل وحدة الإدراك الحسي مستحقة للتشديد عليها هو أن الكثير من الخبرة الماضية مجسّدٌ في الجهاز العصبي الذي يحول المنبّهات إلى إدراكات حسية. وإن جهازاً للإدراك الحسي مبرمجاً بطريقة صحيحة له قيمة البقاء. والقول إن أعضاء مجموعات مختلفة يمكن أن تكون إدراكاتهم الحسية مختلفة عندما يواجَهون بالمنبّهات نفسها لا يتضمن أبداً القول إن إدراكاتهم الحسية هي من أي نوع. ففي بيئات كثيرة، لا تقدر جماعةٌ البقاءَ إذا كانت لا تستطيع التمييز بين الذئاب والكلاب. كذلك لا تبقى اليوم مجموعة من علماء الفيزياء النووية كعلماء إذا كانت عاجزة عن إدراك مسارات جسيمات [196] أَلفَا والإلكترونات. ولأن الطرق المفيدة قليلة جداً، فإن ما بقي منها بعد اختبارات استعمال المجموعة لها هو ما يستحق الانتقال من جيل إلى جيل. وعلى نحو مماثل، فلأنها انتُقِيَتْ لنجاحها في زمن تاريخي، فإن علينا أن نتكلم عن الخبرة، وعن معرفة الطبيعة المتجسدتين في الطريق ما بين المنبّه والإحساس.

وربما تكون كلمة «معرفة» هي الكلمة غير الصحيحة، لكنّ هناك أسباباً لاستخدامها. فما هو مبني في العملية العصبية والذي يحوّل المنبّهات إلى أحاسيس له الخصائص الآتية: لقد حصل انتقاله بواسطة التربية، وقد تبين بالتجربة أنه أكثر كفاءة من منافسيه التاريخيين في البيئة الراهنة للمجموعة، وأخيراً هو عرضة للتغير من خلال زيادة في التربية ومن خلال اكتشاف حالات عدم تطابق مع

البيئة. تلك خصائص المعرفة، وهي توضح سبب استخدامي المصطلح. لكنه استخدام غريب، وذلك لفقدان خاصة واحدة أخرى. فليس لنا اتصال مباشر بماهية ما نعرف، وليست لدينا قواعد أو تعميمات للتعبير بها عن هذه المعرفة. وإن القواعد التي تمكن من ذلك الاتصال تشير إلى المنبّهات وليس إلى الأحاسيس، ولا نستطيع أن ندرك المؤثرات إلا من خلال نظرية دقيقة الصياغة. وفي حال غياب هذه النظرية، فإن المعرفة الموجودة داخل الطريق الواصلة ما بين المنبّه والإحساس تظل معرفة ضمنية.

ومع أن ما قيل عن الإحساس هو أوّليّ وليس من الضروري أن يكون صحيحاً بكل تفاصيله، فهو مقصود وبصورة حرفية. فهو على الأقل فرضية حول الرؤية يجب إخضاعها للفحص التجريبي، وإن كان من غير المحتمل إخضاعها للفحص المباشر. ولكن حديثاً مثل هذا هنا عن الرؤية والإحساس له وظائف مجازية مثلما كان له في متن الكتاب. فنحن لا نرى الإلكترونات، لكنا نرى مساراتها أو فقاعات من البخار في حجرة السحاب. كذلك الغلفانومتر نحن لا نرى التيارات الكهربائية إطلاقاً، وإنما نرى إبرة جهاز الأمّيتر أو الغلفانومتر. ومع ذلك، فقد تصرفت في الصفحات السابقة، وبخاصة في الفصل العاشر، وبصورة متكررة، كما لو أننا ندرك الكائنات النظرية إدراكاً حسياً، مثل التيارات الكهربائية، والإلكترونات، والحقول، وكما لو أننا تعلمنا أن نفعل ذلك من فحص الأمثلة التوضيحية، وكما لو أنه من الخطأ استبدال الحديث عن الرؤية بالحديث عن المعايير والتفسير في هذه الحالات. وإن التشبيه الذي ينقل «الرؤية» إلى سياقات مثل هذه قلّما يكون أساساً كافياً لمثل هذه [197] المزاعم. وسيحتاج في المدى الطويل إلى إلغاء لمصلحة نمطٍ من الخطاب يكون أكثر حَرْفيّة.

إن برنامج الحاسوب الذي أشير إليه أعلاه له بداية توحي بوجود طرق يمكن بها تحقيق ذلك، لكن الفسحة المتوافرة لي ومقدار فهمي الحالي لا يسمحان بحذف التشبيه هنا[14]. وعوضاً عن ذلك، فإني سأحاول تحصينها، وباختصار. إن رؤية قطرات ماء أو إبرة على مقياس عددي هي خبرة أولية في الإدراك الحسي لإنسان لا يعرف شيئاً عن حجرات السحاب وأجهزة الأمّيتر. لذا فإنها تتطلب تفكيراً، وتحليلاً، وتفسيراً (أو تدخّل سلطة معرفية خارجية) قبل إمكان الوصول إلى نتائج تختص بالالكترونات والتيارات الكهربائية. غير أن موقف الرجل الذي تعلّم عن هذه الأدوات وأحرز خبرة فيها بالأمثلة التوضيحية الكثيرة، هو موقف مختلف جداً، وهناك فروقات مقابلة في طريقة معالجته للمنبّهات التي تصله منها. وهو عندما ينظر إلى البخار الصاعد في تنفسه في وقت بعد ظهر يوم شتوي بارد، فإن إحساسه يمكن أن يكون كإحساس الرجل العادي، ولكنه إذا نظر إلى حجرة سحاب فإنه (وهنا، بالمعنى الحرفي) لا يرى قطرات ماء، بل مسارات إلكترونات، وجزيئات أَلْفا، وهكذا. وتلك المسارات هي، إذا سمحت، معايير يفسرها هو على أنها مؤشرات تدل على وجود

(14) قد تفيد الملاحظات الموجزة التالية قراء المقالة «إعادة نظر». إن إمكانية التعرّف المباشر على أعضاء عائلات طبيعته يعتمد على وجود فضاء إدراكي فارغ بين العائلات التي يراد تمييزها، وذلك بعد التسجيل العصبي. فعلى سبيل المثال، إذا كان هناك صفّ متصل ملحوظ من الطيور يتراوح تأليفه ما بين إوز من نوع «Gesse» إلى إوز من نوع «Swan» فنحن ملزمون، حالئذٍ، إلى وضع معيار خاص لتمييزهما. وهذه الفكرة ذاتها تقال على الكائنات غير الخاضعة للملاحظة. وإذا لم تسمح نظرية فيزيائية بوجود شيء آخر مثل التيار الكهربائي، عندئذٍ سيكفي عدد قليل من المعايير، يتغير من حالة إلى حالة، للتعرف على التيارات الكهربائية بالرغم من عدم وجود مجموعة من الشروط الضرورية والكافية لتعريف كائن نظري، فإنه يمكن حذف ذلك الكائن من أنطولوجيا النظرية بواسطة التبديل. وفي حالة عدم وجود مثل هذه القواعد، فإن هذه الكائنات لا تحذف، وعندئذٍ تتطلب النظرية وجودها.

الجسيمات المقابلة لها، ولكن تلك الطريق أقصر ومختلفة عن الطريق التي يتخذها الرجل الذي يفسر قطرات الماء.

أو لنأخذ العالِم الذي يفحص جهاز الأمّيتر ليحدد العدد الذي توقفت عنده إبرة الجهاز. فمن المحتمل أن يكون إحساسه مثل إحساس الرجل العادي، وبخاصة إذا سبق للرجل العادي أن قرأ [198] أنواعاً أخرى من المقاييس. ولكن العالِم (وغالباً، بالمعنى الحرفي) قد رأى الجهاز في سياق الدارة الكهربائية كلها، وهو يعرف شيئاً عن بنيتها الداخلية. فموضع الإبرة هو معيار بالنسبة إليه، لكنه معيار **لقيمة** التيار الكهربائي فقط. ولكي يفسّره ليس عليه إلا أن يحدد المقياس الذي يجب أن يقرأ عليه الجهاز. أما بالنسبة إلى الرجل العادي من جهة أخرى، فإن موضع الإبرة لا يشكل معياراً لأي شيء إلا ذاته. ولكي يفسره لا بد له من أن يفحص مجموعة الأسلاك الداخلية والخارجية كلها، وأن يجري تجارب البطاريات والمغناطيسات، وهكذا. إن التفسير يبدأ حيث ينتهي الإدراك الحسي، سواء أكان في الاستعمال المجازي أو الاستعمال الحرفي لكلمة «رؤية». والعمليتان ليستا متطابقتين، وما يتركه الإدراك الحسي للتفسير لإكماله، يتوقف بصورة كبيرة على طبيعة ومقدار الخبرة والتدريب السابقين.

5- الأمثلة التوضيحية، وعدم إمكان المقارنة، والثورات

إن ما قيل قبل قليل يوفِّر أساساً لتوضيح ناحية أخرى من الكتاب، وهي: ملاحظاتي حول فكرة عدم إمكانية المقارنة ونتائجها عند العلماء الذين يتجادلون حول مسألة الخيار بين النظريات المتعاقبة(15). فلقد ناقشت في الفصلين العاشر والثاني عشر قائلاً إن

(15) النقاط التي تتبع نوقشت بتفصيل في القسمين الخامس والسادس من: Kuhn, «Reflection on my Critics».

الطرفين في مثل هذه المجادلات لا محالة من أن يريا بعض المواقف التجريبية رؤية مختلفة، ومواقف المشاهدات التي يلجأ إليها كلاهما. وبما أن المصطلحات التي يناقشون بها مثل هذه المواقف تتألف المصطلحات نفسها في معظمها، فلا بد أن يكونوا قد ربطوا بعض هذه المصطلحات بالطبيعة ربطاً مختلفاً، وأن يصبح التواصل بينهما جزئياً فقط. وتكون النتيجة أن تفوّق نظرية على أخرى شيء لا يمكن إثباته في الجدل. وبدلاً من ذلك، أكَّدْتُ أنه يجب على كل طرف أن يحاول بواسطة الإقناع أن يحوِّل الطرف الآخر إليه. ووحدهم الفلاسفة هم الذين أساءوا تأويل القصد الماثل في هذه الأجزاء من حجّتي. ولقد كتب عدد منهم قائلاً إني أعتقد بما يلي[16]: إن أنصار [199] النظريات التي ليس بالإمكان مقارنتها عاجزون عن التواصل فيما بينهم، والنتيجة هي أنه لا يمكن اللجوء إلى أسباب **وجيهة** في جدال حول مسألة الاختيار بين النظريات، وأنه، بدلاً من ذلك، يجب اختيار النظرية استناداً إلى أسباب هي في النهاية أسباب شخصية وذاتية، وأن نوعاً من الإدراك الصوفي هو المسؤول عن القرار الذي يُتخذ فعلياً. وإن الفقرات التي بنيت عليها هذه الإنشاءات الخاطئة هي المسؤولة عن الاتهامات باللاعقلانية أكثر من أي أجزاء أخرى من الكتاب.

لننظرْ أولاً في ملاحظاتي حول البرهان. لقد كانت النقطة التي كنت أحاول أن أضعها بسيطة، وهي كانت مألوفة لمدة طويلة في فلسفة العلم. فالمجادلات حول مسألة اختيار النظرية لا يمكن صبُّها في صورة تشبه تماماً صورة البرهان المنطقي أو الرياضي. ففي

---

(16) أنظر الأعمال التي استشهدنا بها في الهامش رقم 9 من هذا القسم، وأيضاً، مقالة ستيفن تولمن (Stephen Toulmin) المنشورة في: *Criticism and the Growth of Knowledge.*

البرهان المنطقي أو الرياضي تكون المقدِّمات وقواعد الاستنتاج محددة منذ البداية. وإذا ما حصل خلاف حول النتائج، فإن أطراف الجدل الناشئ يمكنهم أن يراجعوا خطواتهم خطوة خطوة، فاحصين كل واحدة منها بالاستناد إلى التحديد السابق. وفي نهاية تلك العملية لا بد لطرف أو لآخر من أن يسلم بأنه قد اقترف خطأ وخالف قاعدة سبق قبولها. وبعد حصول ذلك التسليم ليس للطرف الذي فعله أي لجوء آخر، ويصبح برهان خصمه عندئذ ملزماً. أما إذا اكتشف الطرفان أنهما مختلفان حول معنى وتطبيق القواعد المحددة، وأن اتفاقهما السابق لا يوفر أساساً كافياً للبرهان، ففي هذه الحالة فقط يستمر الجدل في الصورة التي تكون له بلا شكّ في الثورات العلمية. ويكون ذلك الجدل حول المقدمات، وهو يتوسّل الإقناع كمقدمة لإمكانية البرهان.

لا شيء مما يتعلق بهذه الأطروحة المألوفة نسبياً يتضمن عدم وجود أسباب وجيهة لحصول الاقتناع، أو أن تلك الأسباب ليست في النهاية حاسمة بالنسبة إلى المجموعة. كما لا يتضمن أن أسباب الاختيار مختلفة عن تلك التي يسلسلها فلاسفة العلم: مثل الدقة، والبساطة، والإنتاجية، وما شابه. لكن ما يجب اقتراحه هو أن مثل هذه الأسباب تعمل كقيم، ولذا يمكن تطبيقها بطرق مختلفة، فردياً وجماعياً، من قبل رجال اتفقوا على احترامها. فعلى سبيل المثال، إذا اختلف رجلان حول الإنتاجية النسبية لنظريّتيهما، أو لم يختلفا على ذلك لكنهما اختلفا على الأهمية النسبية للإنتاجية، ولنقل على مدى الوصول إلى اختيار، فلا يحكم على أي منهما بأنه ارتكب [200] خطأ. كما لا يحكم على أي منهما بأنه ليس علمياً. فليس هناك حساب لوغاريتمي محايد لكي يعتمد في اختيار النظرية، ولا طريقة نظامية لاتخاذ القرار لا بد لها، إذا ما طبقت بطريقة صحيحة، أن

تقود كل فرد في المجموعة إلى القرار ذاته. وبهذا المعنى، هو متَّحد الاختصاصيين الذي يصنع القرار الفعّال، وليس أعضاؤها منفردين. ولا يحتاج المرء ليفهم لماذا يتطور العلم، كما يتطور، إلى الكشف عن تفاصيل السيرة الذاتية والشخصية اللتين تقودان كل فرد إلى خيار خاص، مع أن لذلك الموضوع جاذبية كبيرة. غير أن ما يجب على المرء أن يفهمه، على كل حال، هو الطريقة التي بها تتفاعل مجموعة من القيم المشتركة الخاصة مع الخبرات الخاصة المشتركة لمتحد من الاختصاصيين وذلك للتيقن من أن معظم أعضاء المجموعة سوف يجدون، في النهاية، مجموعة من الحجج تكون حاسمة أكثر من غيرها.

تلك هي عملية الإقناع، لكنها تقدم مشكلة أعمق. فالرجلان اللذان يدركان الموقف ذاته إدراكاً حسياً مختلفاً، ومع ذلك يستخدمان المفردات ذاتها في مناقشته، لا بد أنهما يستخدمان الكلمات استخداماً مختلفاً. فهما يتكلمان من خلال ما كنت قد دعوته وجهتَي نظر لا إمكان لمقارنتهما. فكيف يمكن أن يأملا بالحديث مع بعضهما، والأقل من ذلك أن يكونا مقنعين؟ وحتى إن الجواب الأولي عن ذلك السؤال يقتضي تحديداً أوسع لطبيعة الصعوبة. وإني أفترض أن الجواب سيأخذ الصورة التالية، على الأقل جزئياً.

تعتمد ممارسة العلم العادي على القدرة المكتسبة من الأمثلة التوضيحية على جمع الأشياء والمواقف وإدخالها في مجموعات تَشَابهٍ هي بدائية، بمعنى أن الجمع يكون من دون الجواب عن السؤال، «مشابه بالنسبة إلى ماذا؟» لذا، فإن إحدى النواحي المركزية لأي ثورة هي أن بعض علاقات التشابه يتغير. فالأشياء التي جمعناها في المجموعة نفسها من قبل، تجمع في مجموعات مختلفة في ما بعد، والعكس بالعكس. فلنفكّر بالشمس، والقمر، والمريخ،

والأرض قبل كوبرنيكوس وبعده، أو بالسقوط الحر، والنوّاس، وحركة الكواكب قبل غاليليو وبعده، أو في الأملاح، والسبائك وخليط برادة الحديد والكبريت قبل دالتون وبعده. ولما كان معظم الأشياء داخل المجموعات التي تغيرت ظلت مجموعة مع بعضها البعض، فإن أسماء المجموعات تبقى محفوظة عادة. ومع ذلك، فإن انتقال جزء من مجموعة هو جزء من تغير حاسم في شبكة العلاقات المتداخلة فيما بينها. فإن نقل المعادن من مجموعة المركبات إلى [201] مجموعة العناصر أدّى دوراً جوهرياً في نشوء نظرية جديدة تتعلق بالاحتراق، والحموضة، والاتحاد الفيزيائي والكيميائي. وباختصار، فإن تلك التغييرات عمّت كل علم الكيمياء. لذا فعندما تحدث مثل هذه التوزيعات الجديدة، ليس هناك من مفاجأة أن يمكن رجلين أن يجدا نفسيهما فجأة مستجيبين للمؤثر نفسه بأوصاف وتعميمات غير متسقة، وهما اللذان كانا في خطابهما السابق متفاهمين تماماً. وهذه الصعوبات لا يحصل الشعور بها في كل مناطق خطابهما العلمي، ولكنها ستظهر وستتجمع بكثافة عظمى حول الظواهر التي يعتمد اختيار النظرية عليها أكثر ما يعتمد اعتماداً مركزياً.

إن مثل هذه المشكلات، بالرغم من أنها أصبحت واضحة في الاتصالات في أول الأمر، ليست مجرد مشكلات لغوية، ولا يمكن حلها ببساطة بوضع تعاريف للمصطلحات المزعجة. ولأن الكلمات التي تتجمع حولها الصعوبات قد تم تعلمها جزئياً من التطبيق المباشر على الأمثلة التوضيحية، فإن الشخصين المشاركين في انقطاع الاتصال لا يمكنهما أن يقولا: «أنا استخدم كلمة «عنصر» (أو «خليط»، أو «كوكب»، أو «الحركة الحرة») بطرق محددة بالمعايير الآتية. أي إنهما لا يمكن أن يلجآ إلى لغة حيادية يستعملها كل منهما بالطريقة نفسها، والتي تكون كافية لصياغة نظريتيهما أو حتى

لصياغة النتائج التجريبية لهاتين النظريتين. إن جزءاً من الاختلاف سابقٌ لتطبيق اللغات التي سينعكس فيها.

غير أن الرجلين اللذين يختبران مثل هذا الانقطاع في الاتصال لا بد أن يكون لهما سبيل ما يلجآن إليه. فالمنبّهات التي تؤثر فيهما واحدة. وكذلك جهازهم العصبي مهما اختلفت برمجته. إضافة إلى ذلك، فحتى برمجتهم العصبية لا بد أن تكون نفسَها تقريباً، باستثناء منطقة من الخبرة ضيقة، وإن كانت مهمة، وذلك لأنهم يشاركون في التاريخ ما خلال الماضي القريب. وكنتيجة لذلك، فإن حياتهما اليومية، ومعظم عالمهما العلمي، ولغتهما مشتركة. ولأنهما يشتركان في ذلك المقدار الكبير، يجب أن يكونا قادرين على اكتشاف مقدار عظيم عن كيفية اختلافهما. غير أن التقنيات المطلوبة ليست مباشرة، أو مريحة، أو جزءاً من المستودع العادي للعالِم. والعلماء قلّما [202] يعرفونها لما تصلح تماماً، ونادراً ما يستعملونها لمدة أطول لإنتاج تحول أو إقناع أنفسهم أن ذلك التحول لن يحصل.

وباختصار، إن ما يمكن المشتركَيْن في انقطاع الاتصال أن يفعلاه هو أن يعترفا ببعضهما البعض كأعضاء في متحدات ذات لغات مختلفة، ومن ثم يصيران مترجمين[17]. وباتخاذها الاختلافات

---

(17) المصدر الكلاسيكي لمعظم نواحي الترجمة ذات الصلة هو كتاب: Willard van Orman Quine, *Word and Object*, Studies in Communication (Cambridge, MA; New York: [Technology Press of the Massachusetts Institute of Technology], 1960), chaps. i and ii.

لكن يبدو أن كواين يفترض أن يكون لرجلين يتلقيان المنبّه ذاته، الاحساس نفسه، لذلك لم يذكر شيئاً عن مدى قدرة المترجم على وصف العالم الذي تنطبق عليه اللغة المترجمة. ولمزيد عن هذه النقطة الأخيرة، انظر: Eugene Nida, «Linguistics and Ethnology in Translation Problems» in: Dell Hymes, ed., *Language in Culture and Society; a Reader in Linguistics and Anthropology* (New York: [Harper and Row], 1964), pp. 90-97.

بين خطابها الداخلي والخطاب فيما بين جماعتيهم موضوعاً للدرس بذاته، يمكنهما في البداية، أن يكتشفا أن المصطلحات والعبارات التي تستعمل من دون إشكال داخل كل متَّحد، هي مراكز المشكلات في المناقشات ما بين الجماعات. (والعبارات التي لا تقدم مثل هذه الصعوبات يمكن ترجمتها على أساس تشابه نطقها واختلاف معناها). وبعزلهما مناطق صعوبات كهذه في الاتصالات العلمية، يمكنهما، بعد ذلك أن يعودا إلى مفردات حياتهما اليومية المشتركة في محاولة إضافية لإلقاء الضوء على مشكلاتهما. ويمكن كل واحد أن يكتشف ما يمكن أن يراه الآخر ويقوله عندما يعرض له منبّه تكون استجابته اللغوية الخاصة له مختلفة. وإذا امتنعا بما فيه الكفاية عن شرح السلوك غير المتوقع على أنه نتيجة لخطأ أو جنون، فبإمكانهما مع مرور الزمن، أن يصبحا قادرين على التنبؤ بسلوك بعضهما بصورة جيدة جداً. وسيتعلم كل واحد ترجمة نظرية الآخر ونتائجها إلى لغته الخاصة، وفي الوقت نفسه، سيتعلم وصف العالَم الذي تنطبق عليه تلك النظرية بلغته. وذلك ما يفعله مؤرخ العلم بانتظام (أو ما يجب أن يفعله) عند معالجته نظريات علمية قديمة.

وبما أن الترجمة، إذا ما توبعت، تسمح للمشاركَيْن في انقطاع الاتصال أن يختبرا، وبالنيابة عن بعضهما البعض، شيئاً من حسنات وسيئات وجهة نظر كل منهما، فهي أداة فعالة للإقناع وللتحول من طرف إلى آخر. لكن الإقناع لا يحتاج إلى النجاح وإذا نجح فعلاً، فليس بحاجة لأن يترافق بتحوّل أو يتبعه تحوّل. فالخبرتان ليستا [203] متطابقتين، وهذا تمييز مهم لم أدركه إدراكاً كاملاً إلا مؤخراً.

وإني أرى أن إقناع أحد معناه إقناعه بأن وجهة نظر أحدهم الخاصة هي أفضل، ولذلك، يجب أن تحل محل وجهة نظره. وهذا القدر من الإقناع يتحقق من حين إلى آخر من دون اللجوء إلى أي

شيء مثل الترجمة. وفي حال غيابه، فإن كثيراً من الشروح وصياغات المشكلات المؤيَّدة من قبل أعضاء مجموعة علمية واحدة لن تكون شفّافة للمجموعة الأخرى. ولكن يمكن كل متَّحدٍ لغويٍّ أن ينتج، ومن البداية نتائج بحثية مادية قليلة لا يستطيع المتحد الآخر أن يصفها بمصطلحاته الخاصة، علماً بأنه يمكن وصفها بجمل تفهمها المجموعتان بالطريقة نفسها. وإذا ما بقيت وجهة النظر الجديدة لمدة من الزمن وظلت مثمرة، فمن المرجّح أن ينمو عدد نتائج البحث المصاغة، لغوياً بهذه الطريقة. ومثل هذه النتائج وحدها هي لبعض الرجال حاسمة. فيمكنهم القول: لا أعرف كيف نجح أنصار النظرة الجديدة، لكن لا بد لي من أن أتعلم، فأي شيء يفعلونه هو صواب وصحته واضحة. إن ردَّ الفعل ذاك يصدر بسهولة خاصة من رجال دخلوا إلى المهنة حديثاً، لأنهم لم يكتسبوا بعد المفردات الخاصة والالتزامات التي تتعلق بأي مجموعة.

غير أن الحجج المصاغة بالمفردات التي تستخدمها كلتا المجموعتين بالطريقة نفسها ليست حاسمة، عادة، وعلى الأقل حتى مرحلة متأخرة جداً من مراحل تطور النظرات المتعارضة. وقليلٌ من بين الذين سبق قبولهم في المهنة سيقنع من دون اللجوء إلى مقارنات طويلة إضافية تجيزها الترجمة. ومع أن الثمن غالباً ما يكون جملاً طويلة جداً ومعقدة، فإن العديد من نتائج البحث يمكن **ترجمته** من لغة متحد واحد إلى لغة متحد آخر، (لنفكّر بنزاع بروست ـ برثوليه (Proust - Berthollet) الذي أُجرِيَ من دون اللجوء إلى مصطلح «عنصر»). وزيادة على ذلك، إذا استمرت الترجمة، فإن بعض أفراد كل متحد يمكن أن يبدأ، وبطريقة نيابية، بفهم كيف أن جملة كانت غير شفّافة سابقاً يمكن أن تبدو مشروحة بالنسبة إلى أعضاء المجموعة المعارضة. وبالطبع، فإن وجود تقنيات كهذه لا يضمن

حصول الإقناع. فالترجمة هي بالنسبة إلى كثير من الناس عملية مهدِّدة، وهي غريبة كلية عن العلم العادي. وفي أي حال، فإن [204] الحجج المضادة موجودة دائماً ولا وجود لقواعد ترسم كيفية تحقيق التوازن. ومع ذلك، فالذي يحصل هو أنه مع تراكم الحجج، حجة فوق أخرى، وتلاحق التحديات، تحدياً بعد آخر، والنجاح في مواجهتها، لا يبقى من وصف لاستمرار المقاومة إلا العناد الأعمى.

وفي كون الحالة كذلك، تصبح ناحية أخرى من نواحي الترجمة مهمة، وبصورة حاسمة، وهي الناحية المألوفة لدى المؤرخين واللغويين منذ مدة طويلة. فترجمة نظرية أو رؤية للعالَم إلى اللغة الخاصة لإنسان لا تعني أن تصبح النظرية أو الرؤية نظريته ورؤيته. ولكي تكون كذلك، على المرء أن يعمل بشكل طبيعي، ويكتشف أنه يفكر ويعمل بلغة كانت غريبة من قبل، وليس مترجماً لها فقط. وذلك الانتقال ليس من النوع الذي يمكن الفرد أن يقوم به أو يمتنع عن القيام به بواسطة التفكير والاختيار، مهما كانت مبررات رغبته في عمل ذاك صالحة. وعوضاً عن ذلك، فإنه سيجد عند نقطة ما في عملية تعلمه الترجمة أن الانتقال حدث، وأنه انزلق إلى داخل اللغة الجديدة من دون اتخاذ قرار مسبق. أو يجد نفسه مقتنعاً اقتناعاً كاملاً بالنظرة الجديدة، ومع ذلك، فهو عاجز عن هضمها في داخله ومؤالفة العالم التي تساعد على تشكيله، مثل الكثيرين ممن واجهوا النظرية النسبية أو ميكانيكا الكَمْ في سنواتهم المتوسطة. فمثل هذا الرجل حدد اختياره تحديداً فكرياً، لكن التحول المطلوب، إذا أريد له أن يكون فعالاً، يتملّص منه. ومع ذلك، يمكنه أن يستخدم النظرية الجديدة، لكنه سيفعل ذلك كأجنبي في بيئة أجنبية، وباعتبارها خياراً لم يتوفر له إلا لأن هناك سكاناً أصليين سابقين. فعمله طفيليّ يتغذى من عملهم، لأنه يفتقر إلى منظومة المجموعات

العقلية التي سيكتسبها أعضاء المتحد المستقبليون من خلال التربية.

لذلك فإن خبرة التحول التي شبهتها بالنقلة الجشطالتية تظل في موقع القلب في العملية الثورية. وتوفر الأسبابُ الوجيهةُ للاختيار دوافعَ للتحوّل ومناخاً لاحتمال حدوثه. ويمكن الترجمة أن توفر أيضاً مداخل لإعادة البرمجة العصبية، التي مهما كانت غير قابلة للفحص في الوقت الحاضر، لا بد أن تكون أساساً للتحول. ولكن لا الأسباب الوجيهة ولا الترجمة يشكلان التحول، وتلك هي العملية التي علينا توضيحها لكي نفهم نوعاً مهماً من التغير العلمي.

[205] 6- الثورات والمذهب النسبي

لقد أزعجت إحدى نتائج الموقف الذي أجملناه قبل قليل عدداً من النقاد[18]. فقد وجدوا وجهة نظري نسبية، وبخاصة كما جرى توسيعها في الفصل الأخير من هذا الكتاب. وملاحظاتي حول الترجمة تلقي ضوءاً على أسباب الاتهام. إن أنصار النظريات المختلفة هم مثل أعضاء متحدات ثقافات لغوية مختلفة. وإدراك الموازاة بينهما يفيد أن المجموعتين قد تكونان على حق بمعنى من المعاني. وإذا طُبِّقَ ذلك الإدراك على الثقافة وتطورها يكون ذلك الموقف نسبياً.

ولكن إذا طبق على العلم فقد لا يكون كذلك، وهو وفي أي حال أبعد ما يكون عن مجرد النسبية من ناحيةٍ أخفق نقّاد الكتاب في رؤيتها. وإن الممارسين للعلوم المتطورة، إذا ما نظر إليهم كمجموعة أو في مجموعات، هم بصورة أساسية حلّالو أحجيات، كما ناقشت. ومع أن القيم التي يستعملونها في أوقات اختيار النظرية مُسْتَمَدَّة من

(18) انظر مقالة بوبر، و Shapere, «The Structure of Scientific Revolutions,» in: *Criticism and the Growth of Knowledge*.

نواح أخرى من عملهم أيضاً، فإن القدرة الظاهرة على وضع الأحَجيات التي تقدمها الطبيعة، وحلها هي، وفي حالة النزاع القِيَمي، المعيار المسيطر عند أكثرية أفراد مجموعة علمية. وقد برهنت القدرة على حل الأحجيات على أنها غامضة في التطبيق مثلها مثل أي قيمة أخرى. فقد يختلف رجلان يملكان هذه القدرة في الأحكام التي يضعانها نتيجة لاستعمالها. لكن سلوك المتحد الذي يُجِلّها سيكون مختلفاً جداً عن سلوك ذلك الذي لا يفعل ذلك. وإني أعتقد أن القيمة العليا في العلوم، التي تُضْفى على القدرة على حل الأحجيات، لها النتائج التالية.

فلنتخيل شجرة تطوُّر تمثل تطور الاختصاصات العلمية الحديثة ابتداءً من أصولها المشتركة في الفلسفة الطبيعية البدائية مثلاً، فإن خطاً مرسوماً وصاعداً لتلك الشجرة بدءاً من الجذع إلى الطرف الدقيق في نهاية غصن ما، من دون أن يعود إلى الوراء، سوف يرسم تعاقب النظريات المترابطة بتحدّرها الواحدة من الأخرى. وإذا ما أخذنا نظريتين من هذه النظريات، مختارتين عند نقطتين ليستا بقريبتين كثيراً من أصلهما، فلا بد أن يكون من السهل وضع قائمة من المعايير تمكّن مشاهداً غير ملتزم من أن يميز النظرية السابقة من النظرية الأحدث مرة بعد مرة. وسيكون من بين الأكثر نفعاً في حصول ذلك ما يلي: دقة [206] التنبؤ، وبخاصة التنبؤ الكَمّي، والتوازن بين مادة الاختصاصيين ومادة الحياة اليومية، وعدد المشكلات المختلفة التي تمَّ حلها. وما هو أقل نفعاً لهذا الهدف، لكنه من المحددات المهمة للحياة العلمية، فسيكون عبارة عن قيم مثل البساطة، والمدى، والاتساق مع اختصاصات أخرى. وتلك القوائم ليست هي القوائم المطلوبة، إذ لم يحصل ذلك بعد، لكنني متيقن من إمكانية إكمالها. فإذا اكتملت، فإن التطور العلمي يكون مثل التطور البيولوجي عملية غير موجهة وغير قابلة للعكس.

والنظريات العلمية المتأخرة تكون أفضل من النظريات المبكرة لحل الأحجيات في البيئات المختلفة التي تطبق فيها، التي غالباً ما تكون هادئة. فليس ذلك موقفاً نسبياً، وهو يعرض المعنى الذي بفضله أنا مؤمن وعن اقتناع بالتقدم العلمي.

غير أن هذا الموقف إذا قورن بمفهوم التقدم الأكثر انتشاراً لدى فلاسفة العلم والعاديين من البشر، فإنه يبدو مفتقراً إلى عنصر جوهري. فالعادة هي أن الشعور بأن نظرية علمية هي أفضل من سابقاتها لا يقتصر سببه على أنها أداة أفضل لاكتشاف الأحجيات وحلها، ولكن لأنها أيضاً ممثل أفضل لواقع الطبيعة. وغالباً ما يسمع المرء أن نظريات متعاقبة تقترب من الحقيقة أو تتقارب منها. وواضح أن تعميمات كذلك لا تشير إلى حل الأحجيات وإلى التنبؤات المادية المستمدة من النظرية، وإنما إلى أنطولوجيا النظرية، أي إلى المطابقة ما بين الكائنات التي تملأ بها النظرية الطبيعة و«الواقع هناك».

وقد توجد طريقة أخرى لإنقاذ مفهوم «الصدق» لتطبيقه على النظريات برمّتها، لكن هذه الطريقة لا تقدر على ذلك. وأظن أنه لا يوجد طريقة مستقلة عن النظرية لصياغة عبارات مثل «واقعياً هناك»، فمفهوم مطابقة ما بين أنطولوجيا نظرية ونظيرها «الواقعي» في الطبيعة يبدو لي الآن مخادعاً من الوجهة المبدئية. وإلى جانب ذلك فإني، كمؤرخ، معجب بعدم معقولية هذه النظرة. فأنا لا أشك، على سبيل المثال، بأن ميكانيكا نيوتن أحسن من نظرية أرسطو، وأن نظرية إينشتاين أفضل من نظرية نيوتن، وذلك من حيث كونها أدوات لحل الأحجيات. لكني لا أرى في تعاقبها اتجاهاً للتطور الأنطولوجي ذا علاقة اتساق منطقي. بل، على العكس، فإن نظرية النسبية العامة [207] لإينشتاين هي أقرب إلى نظرية أرسطو من قرب أي منهما إلى نظرية نيوتن، وذلك من بعض النواحي المهمة، وإن لم يكن من النواحي

كلها. وبالرغم من الإغراء الذي دفع بي إلى وصف ذلك الموقف بأنه نسبي يمكن فهمه، فإن الوصف يبدو لي خاطئاً. وفي المقابل، إذا كان الموقف يتصف بالنسبية، فإني لا أرى أن الإنسان النسبي يخسر أي شيء يحتاجه لشرح الطبيعة وتطوّر العلوم.

7- طبيعة العلم

أختتم كلامي بمناقشة مختصرة لردّي فعلٍ متكررِيْن على نصّي الأصلي، وكان رد الفعل الأول نقدياً، أما الثاني فكان مؤيداً، ولا أعتقد أن أياً منهما كان محقاً تماماً. وكلاهما انتشرا بما فيه الكفاية، ما يقتضي مني استجابة ما، على الأقل، علماً بأن لا علاقة لأي منهما بما قيل حتى الآن، ولا ببعضهما البعض.

لقد لاحظ نفر قليل من قرّاء نصّي الأصلي أنني كنت أراوح ما بين نمطين هما النمط الوصفي والنمط المعياري، ولوحظ هذا الانتقال، بصورة خاصة، في فقرات عرضية تبدأ بـ «ولكن ليس ذلك ما يفعله العلماء»، وتختتم برأي هو أن ليس من واجب العلماء أن يفعلوا مثل هذا. ولقد زعم بعض النقاد بأني أخلط ما بين الوصف الوجودي والمعيارية الوجوبية، وأني بذلك خرجت عن النظرية الفلسفية المحترمة طيلة الزمان، وهي: «يوجد» لا يتضمن «يجب»[19].

لقد صارت تلك النظرية قولاً تافهاً في الممارسة ولم تعد تُحترم في كل مكان. وهناك عدد من الفلاسفة المعاصرين اكتشف سياقات

(19) للحصول على مثل واحد من أمثلة عديدة، انظر مقالة فايرابند المنشورة في:
Paul Feyerabend, «Consolations for the Specialist,» in: *Criticism and the Growth of Knowledge*.

مهمة فيها يمتزج المعياري والوصفي امتزاجاً وثيقاً[20]. فلا يبدو المصطلح «يوجد» والمصطلح «يجب» منفصلين دائماً. ولا حاجة إلى اللجوء إلى دقائق الفلسفة اللغوية المعاصرة لعوْننا على فكّ ما بدا غامضاً ومتعلقاً بهذه الناحية من موقفي. فالصفحات السابقة تقدم وجهة نظر أو نظرية عن طبيعة العلم، ولها، مثل فلسفات العلم الأخرى، نتائج تختص بالكيفية التي يجب على العلماء أن يسلكوها إذا أريد لمشروعهم أن ينجح. ومع أنها قد لا تكون صحيحة بصورة [208] تجعلها أفضل من أي نظرية أخرى، فإنها توفر أساساً لمصطلحات متكررة من نوع «يجب» و«يقتضي». وإذا عكس الأمر، فإن مجموعة من الأسباب التي تبرر النظر إلى نظرية نظرة جدية تتمثل في أن علماء، ممن تطورت طرائقهم واختيرت لنجاحهم، يسلكون سلوكاً فعلياً كما توجب النظرية. إن تعميماتي الوصفية هي دليل لمصلحة النظرية، وذلك لأنه يمكن اشتقاقها منها أيضاً، في حين تؤلف استناداً إلى نظرات أخرى حول طبيعة العلم، سلوكاً متبايناً.

ولا أعتقد أن حلقة تلك الحجة هي حلقة مفرغة بالمعنى المنطقي. فلم تستنفد نتائج وجهة النظر التي نوقشت بالمشاهدات التي بنيت عليها. وحتى قبل إصدار هذا الكتاب لأول مرة، وجدتُ أن أجزاء من النظرية التي يقدمها تشكّل أداة مفيدة لاكتشاف السلوك والتطور العلميين. وإن مقارنة هذه الحاشية مع صفحات النصّ الأصلي يمكن أن توحي باستمرار أداء ذلك الدور. فليست وجهة النظر التي تتصف بأنها مجرد حلقة مفرغة هي التي يمكن أن توفر مثل هذا الإرشاد.

---

(20) انظر: Stanley Cavell, *Must We Mean What We Say? A Book of Essays* (New York: [Scribner], 1969), chap. i.

سيكون جوابي من نوع مختلف على رد فعل واحد وأخير على هذا الكتاب. إن عدداً ممن أسعدهم الكتاب شعروا بذلك لأنهم وجدوا بعد قراءتهم أطروحاته أنه يمكن تطبيقها على حقول عديدة أخرى أيضاً، وليس لأنه يلقي ضوءاً على العلم. وأنا أفهم ما يعنون ولا أرغب في أن أُثبِّط محاولاتهم لتوسيع الموقف، لكن رد فعلهم، مع ذلك، حيّرني. لا شك في أن لأطروحات الكتاب تطبيقاً واسعاً، وذلك في حدود تصويره التطور العلمي سلسلة متعاقبة من الفترات الملتزمة بالتقليد وبينها فواصل من الانقطاعات غير التراكمية. ويجب أن تكون الأطروحات كذلك، لأنها مستعارة من حقول أخرى. فلطالما وصف مؤرخو الأدب، والموسيقى، والفنون، والتطور السياسي، ومؤرخو نشاطات إنسانية كثيرة أخرى، موضوعاتهم بالطريقة نفسها. وكان من بين أدواتهم المعيارية التقسيم إلى فترات زمنية بدلالة الانقطاعات الثورية في الأسلوب، والذوق، والبنية المؤسسية. وأصالتي المتصلة بتصورات مثل هذه كانت بتطبيقها على العلوم، بشكل رئيسي، التي كان يعتقد بشكل واسع أن حقولها تتطور بطريقة مختلفة. ومفهوم البراديغم من حيث هو إنجاز مادي، أي مثال توضيحي، هو إسهام ثان. وأنا أظن، على سبيل المثال، بأنه يمكن زوال بعض الصعوبات البارزة والمحيطة بمفهوم الأسلوب إذا نُظر إلى لوحات الفن التشكيلي على أنها مصممة واحدتها على [209] مثال الأخرى وليست منتجة على قياس بعض قواعد في الأسلوب مجردة[21].

وعلى كل حال، كان القصد من هذا الكتاب وضع نقطة من

---

(21) حول هذه النقطة ولمزيد من المناقشة الموسَّعة عن خصوصية العلم، انظر:
Thomas S. Kuhn, «Comment [on the Relations of Science and Art],» *Comparative Studies in Philosophy and History*, vol. 11 (1969), pp. 403-412.

نوع آخر، نقطة كانت رؤيتها أقل وضوحاً لكثيرين من قرائه. فمع أن التطور العلمي يمكن أن يشبه التطور في حقول أخرى تشابهاً أقرب مما كان يفترض، فإنه تطور مختلف اختلافاً بارزاً. فالقول، على سبيل المثال، بأن العلوم، وعلى الأقل بعد نقطة معينة من تطورها، تتقدم بطريقة لا تتقدم بمثلها حقول أخرى، لم يكن كله خطأ مهما يمكن أن يكون التقدم ذاته. وقد كان أحد أهداف الكتاب فحص هذه الاختلافات، والبدء بوصفها.

فلنأخذ مثلاً، التشديد المتكرر، أعلاه، على غياب المدارس المتنافسة في العلوم المتطورة، أو على ندرتها النسبية، كما يجب عليّ أن أقول الآن. أو لنتذكر ملاحظاتي عن المدى الذي يوفره أعضاء متحد علمي بوصفهم الجمهور الوحيد والحكم الوحيد على عمل ذلك المتحد وحدهم. أو لنفكّر ثانية بالطبيعة الخاصة للتربية العلمية، وبحل الأحجيات كهدف، وبنظام القيم الذي تضعه مجموعة علمية في فترات الأزمة والقرار. ويفصِلُ الكتاب ملامح أخرى من النوع ذاته ليست، بالضرورة خاصة بالعلم وحده، ولكنها معاً تفصل النشاط العلمي عن غيره.

وهناك مقدار كبير مما يمكن تعلمه عن ملامح العلم هذه، كلها. أما وقد افتتحت هذه الحاشية بالتشديد على الحاجة لدرس البنية الاجتماعية للعلم، فإني سأختم بالتأكيد على الحاجة إلى درس مماثل، وقبل كل شيء، إلى درس مقارن للمتحدات المتقابلة في حقول أخرى. فكيف يُنتخب إنسان وكيف ينتخب لعضوية متحد معين، علمي أو غير علمي؟ وما هي عملية التفاعل الاجتماعي وما هي مراحلها إلى المجموعة؟ وما هي الأهداف التي تراها المجموعة رؤية جماعية، وما الانحرافات الفردية أو الجماعية التي تتسامح بها، وكيف تضبط الشذوذ غير المسموح به؟ إن فهماً كاملاً للعلم يتوقف [210]

على إجابات عن أنواع أخرى من الأسئلة أيضاً، ولكن لا توجد منطقة هي بأشد الحاجة إلى العمل فيها مثل هذه المنطقة. فالمعرفة العلمية، مثل اللغة، هي ملك مشترك عميق لمجموعة، أو لا شيء على الإطلاق. ولفهمها سوف نحتاج أن نعرف الخصائص الخاصة للمجموعات التي تُوجدها وتستعملها.



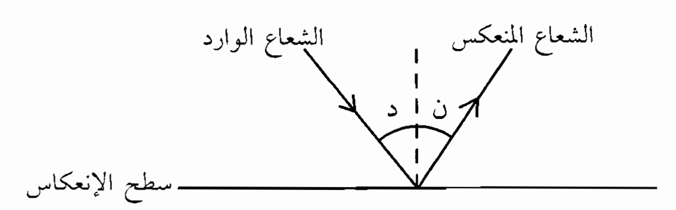
الثبت التعريفي

إدراك حسّي (Perception): هو الوعي بواسطة الحواس. وقد حظيَ هذا المصطلح بأهمية كبيرة عند بعض الفلاسفة، بخاصة الفيلسوفين البريطانيين جون لوك (John Locke) وديفيد هيوم (David Hume)، في القرن السابع عشر، اللذين اعتبرا الحواس المصدر الوحيد للمعرفة. وقد عرف مذهبهما الفلسفي باسم المذهب الحسّي (Empiricism). أما العقل فيصفه لوك بأنه مجرد لوحة بيضاء، تنطبع عليها الإحساسات، ويصفه هيوم وصفاً أكثر تطرفاً بقوله، إنه لا وجود له، وإن كل ما هناك مجرد تدفّق إحساسات!

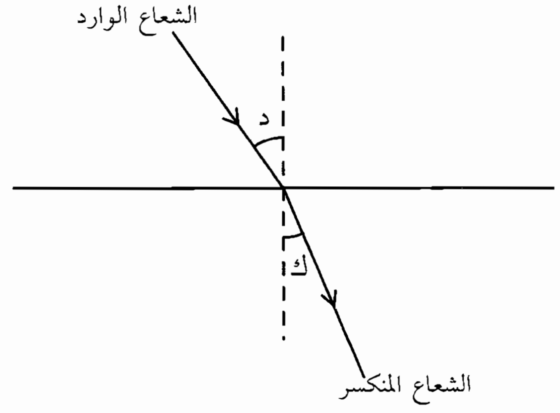
أشعّة سينية (X-rays): وهي الأشعة التي اكتشفها العالم رونتغن (Roentgen). وسميت سينية في العربية وx في الإنجليزية لأنها لا ترى (أي مجهولة)، والحرفان س وx هما الرمزان للمجهول في علم الرياضيات، بخاصة في المعادلات الرياضية. وفي أيامنا تستخدم هذه الأشعة استخداماً مفيداً في الطب في ما يسمى التصوير بالأشعة.

انعكاس الضوء (Reflection): ظاهرة تحصل عندما تصطدم حزمة ضوئية (Beam) مؤلفة من مجموعة من الأشعة (Rays) بسطح مصقول، مثل لوح من الزجاج، فترتدّ الحزمة الضوئية عائدة إلى

الوسط المادي الذي وردت منه. وذلك على النحو التالي: ولهذه الظاهرة قانون يعرف بقانون الانعكاس، صيغته: د (زاوية الورود) = ن (زاوية الانعكاس).



انكسار الضوء (Refraction): ظاهرة ضوئية تحدث عندما تنتقل حزمة ضوئية واردة من وسط مادي إلى وسط آخر. وذلك على النحو التالي: حيث ترمز كل من «د» و«ن» على التوالي إلى زاويتي الورود والانكسار.



براديغم (Paradigm): عنى البراديغم عند كُون «مجموعة القوانين، والتقنيات، والأدوات المرتبطة بنظرية علمية والمسترشدة بها، والتي بها يمارس الباحثون عملهم ويديرون نشاطاتهم. وحالما تتأسس تتّخذ اسم العلم العادي». وبفضل هذا المصطلح، تمكن كُون من شرح وجهة نظره في تاريخ العلم، فرآه عبارة عن تاريخ براديغمات متعاقبة مختلف واحدها عن الآخر اختلافاً نوعياً إلى الحدّ الذي لا يمكن مقارنتها، كما قال. وليس العلم كما خاله آخرون من

مؤرخي العلوم وفلسفاتها عملية تراكمية ممتدة لا يعتريها انقطاع. والبراديغم الذي وصفه بأنه نظرية علمية جديدة، عنى به، وبكلام آخر، نظرة جديدة إلى الكون والطبيعة تقضي على نظرة سابقة، تماماً كما يحصل في الثورات السياسية. والحق أن كُون أنشأ ما يسميه بالموازاة ما بين الثورات العلمية والثورات السياسية، عانياً التشابه القوي بينهما. ومن أوجه التشابه يذكر ما يلي: في كليهما تنشأ أزمات تسبّبها حالات عدم انتظام (Anomalies) يستعصي على النظام القائم حلّها. وفي كليهما، من يقوم بالثورة هو جزء من المجتمع وليس كله. وفي كليهما تظهر إلى الوجود نظرة جديدة لا تلبث أن تؤدي، وفي ضوئها، إلى نشوء نظام جديد في السياسة، وبراديغم جديد في العلم. وفي كليهما ينتهي الأمر بنشوء مؤسسات جديدة وتقاليد حياة سياسية أو علمية جديدة. وهكذا يستمر الحال إلى أن تقع أزمات جديدة تفجر ثورات جديدة. وفكرة البراديغم تتعارض مع التصور الواقعي الذي يعتبر الطبيعة هي المرجعية (Reference)، وأن المعرفة العلمية يجب أن تكون متطابقة مع ما يوجد هناك في الطبيعة أو الكون. المرجعية عند كُون، وفقاً لبراديغمه، هي المتَّحد العلمي (Scientific Community)، فهو الذي يرى الأزمات، وهو الذي يضع النظرات الجديدة كلّها. أما الكلام عن عالِم بمفرده، مكتشف لهذا القانون العلمي أو ذاك، فهو كلام فاسد. فالعلم يتطور متحدّياً أي، اجتماعياً، بواسطة براديغمات.

تحقّق (Verification): وعادةً يقال تحقّق من صحة نظرية من النظريات أو فرضية من الفرضيات العلمية. ويقصد إخضاع النظرية، وتحديداً، نتائجها (Implications) للتجربة لامتحان قدرتها على شرح الظواهر المتعلقة بها. فإذا نجحت في وظيفتها في مكان أو ظهرت ظاهرة وأيّدتها، فمعنى ذلك أن النظرية وجدت ما يعزّزها، أو نقول إنها تحققت، أو إننا تحققنا من صوابها.

تسارع (Acceleration): هو الزيادة في سرعة الجسم المتحرك، كالسيارة. وقد أدى هذا المصطلح دوراً مهماً في علم الحركة الذي أقامه العالم البريطاني نيوتن. فالقانون الثاني الذي صيغته الرياضية: f = ma يشتمل، في ما يشتمل عليه، على فكرة التسارع. وتجدر الإشارة إلى أن عكس التسارع يسمى التباطؤ (Deceleration) ويفيد معنى النقصان في السرعة.

تصوّر (Concept): وهو من المصطلحات الفلسفية عموماً، وعلم المنطق خصوصاً. يفيد جوهرياً معنى الفكرة. ولكن المناطقة يدققون أكثر من غيرهم فينسبون للتصور معنيين أو بعدين هما: المفهوم (Intention)، والماصَدَق (Extension). فعلى سبيل المثال: اللبناني له مفهوم يتألف من صفات مثل حبّ الحرية والديمقراطية، والتكلم باللغة العربية، والإقامة في منطقة تقع على الساحل الشرقي للبحر الأبيض المتوسط، وغير ذلك. واللبناني له ماصَدَق هو عدد معين من البشر، كل واحد منهم هو لبناني.

تكذيب (Falsification): أول من استخدم هذا التعبير كان كارل بوبر، وذلك عبر نقده ونقضه لمبدأ الاستقراء العلمي الذي يقوم على أساس أن الطبيعة نظامها ثابت، وأن ظواهر المستقبل هي كظواهر الماضي. وعنى بوبر أنه يكفي أن توجد ظاهرة واحدة معاكسة للنظرية (أي مكذّبة لها) حتى يكون من الواجب إسقاطها.

جشطالت (Gestalt): مصطلح من مصطلحات علم النفس. وقد ابتدعه واستعمله عدد من علماء النفس الألمان في أبحاثهم عن الإدراك. وقد وجدوا أن عملية الإدراك ليست تجزيئية، أي إن الإنسان لا يدرك شيئاً نقطة نقطة، أو جزءاً جزءاً، بل يدركه ككل.

حدس (Intuition): ويفيد معنى المعرفة المباشرة التي لا تحتاج إلى برهان من منطق أو خلافه.

حفظ الطاقة (Conservation of Energy): مبدأ من مبادئ علم الفيزياء ومؤدّاه أن الطاقة في الكون تتحوّل من صورة إلى أخرى، لكن مقدارها يظل ثابتاً. فالطاقة الكهربائية تتحول إلى طاقة حرارية، ومغناطيسية، وضوئية، وحركية، وغيرها، لكن مقدار الطاقة يظل هو هو، من دون نقصان أو زيادة.

حلقة مفرغة (Circularity): صفة البرهان المنطقي الذي يجعل ما هو مطلوب إثباته (أي نتيجته) مقدِّمة من مقدِّماته. فعلى سبيل المثال: إذا طلب من أحد أن يبرهن على وجود الله، وقال: بما أن الكون موجود (مقدمة أولى) وبما أن الله موجود (مقدمة ثانية) إذاً الله موجود! (نتيجة) ومثل هذا النوع من البرهان يُعَدُّ أغلوطة (Fallacy) من أغاليط المنطق!

حمض (Acid): من مصطلحات علم الكيمياء. مركّب كيميائي يشتمل، بالإضافة إلى عناصر أخرى، على عنصر الهيدروجين. مثلاً، حمض الكبريتيك (Sulfuric Acid) وصيغته SO_4H_2، وحمض الكلوريك وصيغته CLH. وتجدر الإشارة إلى أن الحمض يعرف بواسطة ما يسمى ورق عبّاد الشمس (Litmus Paper). فإذا صُبَّت نقطة منه على ورقة من ذلك الورق وتحولت إلى لون أحمر، فمعنى ذلك أن المركّب المدروس هو حمض. وإذا تحوّل لونها إلى أزرق، فالمركب يكون قلويّ (Alkali) أو قاعدة (Base). وتجدر الإشارة أيضاً إلى أن للحمض، بالإضافة إلى اعتبارات أخرى، أهمية خاصة في علاقته مع القوليّ. ونعني أن تفاعله مع القوليّ ينتج ملحاً من الأملاح والماء. فعلى سبيل المثال: حمض الكلوريك CLH + القلويّ ماءات الصوديوم NaOH كلوريد الصوديوم CLNa (ملح الطعام) + ماء H_2O

الداروينية (Darwinianism): نسبة إلى العالم داروين الذي وضع

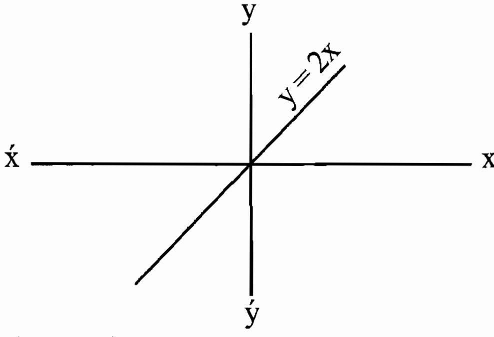
نظرية في التطوّر والنشوء. وجوهر النظرية أن النوع البشري نشأ عن طريق التطوّر الذي تعرضت له أشكال مختلفة أخرى للحياة، كان آخرها القردة. وتجدر الملاحظة أن هذه النظرية تتعارض مع العقيدة الدينية التي تقول بالخلق المستقل للإنسان.

ديناميكا (Dynamics): وهي العلم الذي أسسه العالم البريطاني إسحق نيوتن. ويتألف من قوانين ثلاثة تتعلق بالحركة، هي: 1 ـ قانون العطالة والقصور الذاتي (Inertia): ومؤداه أن الجسم عاجز (عاطل) عن الحركة أو السكون من ذاته. فالساكن يظلّ ساكناً، والمتحرك يظلّ متحركاً حركةً منتظمةً مستقيمةً إلى ما لا نهاية، ما لم تعترضه قوة خارجية فتغيّر من وضعه. 2 ـ قانون التسارع: ويعني أنه إذا طبقت قوة على جسم فإنها تحركه حركة متسارعة. وصيغته الرياضية هي: f(force) = m (masse) x a (acceleration). 3 ـ قانون الفعل وردّ الفعل: ومفاده أنه يوجد لكل فعل ردّ فعل مساوٍ له بالمقدار ومعاكس له في الاتجاه.

ذرّة (Atom): الذرّة تدخل في بنية ما يسمى الجزيء (Molecule)، في علمي الفيزياء والكيمياء. فيقال، مثلاً، إن جزيء عنصر الهيدروجين يتألف من ذرّتين ويكتب H_2. أما بنية الذرّة ذاتها، فتتألف من نواة (Nucleus) ذات كتلة وشحنة كهربائية موجبة تحيط بها مدارات دائرية يتحرك عليها ما يسمى إلكترونات (Electrons) لا وزن لها لكنها عبارة عن شحنات كهربائية سالبة. وتجدر الإشارة إلى أن النواة نفسها تتألف مما هو أصغر منها، بعضه يسمى بروتونات (Protons) وهو الذي يحمل الشحنة الكهربائية الموجبة للنواة، وبعضه نيوترونات (Neutrons) وبوزيترونات (Positrons).

رسم بياني (Graph): مصطلح مستعار من علم الرياضيات. والخطوط البيانية ترجمة هندسية لما يسمى الدوالّ (أو التوابع)

الرياضية مثل $y=2x$ الذي خطّه البياني مستقيم يمر بمركز الإحداثيات o، هكذا:



وقد لا يكون الخط البياني شكلاً هندسيّاً منتظماً، مستقيماً أو دائرة أو قطع ناقص أو خلاف ذلك، بل مجرد خط يصل عدة نقاط. هكذا: وتجدر الإشارة إلى أن مؤسس العلم الذي يشمل الخطوط البيانية والمعروف باسم الهندسة التحليلية، والذي يحمل اسمه، أحياناً، «Cartesian Geometry»، هو الفيلسوف والرياضي الفرنسي.

سرعة (Velocity): وهي من صفات الحركة، فيقال، إن للحركة سرعة معينة. لكن تجدر الملاحظة أن السرعة لها معنيان، هما: العدد وحده، والعدد مع الشعاع (Vector) (أي الاتجاه). والسرعة كعدد هي ما يسمى (Speed) في اللغة الإنجليزية، أما السرعة كعدد واتجاه فهي «Velocity».

شبكة ذات إطار نظامي (Disciplinary Matrix): أو مصفوفة (Matrix) من مصطلحات علم الرياضيات ومعناها منظومة من صفوف (Rows) وأعمدة (Columns) من الأعداد متقاطعة فعلى سبيل المثال:

مصفوفة (matrix) =

3	1	9
8	x	0
x	6	y
7	0	x

أما على مستوى الاستعارة، فإن الشبكة ذات الإطار النظامي تفيد معنى شبكة من القواعد والقوانين والقيم والممارسات منظمة في متحّد (Community) من العلماء. وبهذا المعنى فإنها مرادفة لمعنى البراديغم.

الطاقة الحركية (Kinetic Energy): وهي نوع من أنواع الطاقة التي تشمل، في ما تشمل، الطاقة الكامنة، والطاقة الحرارية، والطاقة الكهربائية، والطاقة المغناطيسية، والطاقة النووية، وغيرها. وتقاس الطاقة الحركية بواسطة القانون التالي: $E = f.d$ حيث E يرمز للطاقة الحركية للجسم المتحرك بفضل قوة f لمسافة d.

طيف (Spectrum): ويقصد به في علم الفيزياء (خاصة أحد فروعه المسمى علم الضوء أو البصريات) مكوِّنات الضوء عموماً. ويحصل عليها، عادةً، بإسقاط ضوء الشمس على أحد سطوح موشور (Prism) زجاجي، ليخرج من السطح المقابل على صورة ألوان متنوعة تمتد ما بين أشعة تحت حمراء (Infra-red) في الأسفل أو أشعة فوق بنفسجية (Ultra-violet) في الأعلى، وما بين الحدين تتدرج أشعة لونية أخرى منها الأحمر والأخضر وغيرهما. ومجموع هذه الأشعة المكوّنة للضوء يسمى الطيف الضوئي، أو بكلمة واحدة، الطيف.

ظاهرة (Phenomenon): وجمعها ظواهر أو ظاهرات. وهو مصطلح من مصطلحات العلوم حيث يفيد المادة التي تدرسها. فعلم الفيزياء يدرس الظواهر الطبيعية، مثل القوة والطاقة، وعلم الاجتماع يدرس الظواهر الاجتماعية، مثل الطبقات والأحزاب والاندماج الاجتماعي.

ظاهرة عدم توقع (Anomaly): وهي الظاهرة التي لا تتّسق مع قواعد ومقتضيات علم عادي (شذوذ)، فتبدو خارج دائرة توقعات

نظرية ذلك العلم فهي شاذّة بذلك المعنى. ومثل هذه الظاهرة تصبح أحجية حتى إذا عجز العلم العادي عن حلّها يتحول الوضع إلى أزمة. والأزمة في هذا السياق معناها «الوعي المشترك بأن شيئاً ما قد تعرّض للخطأ». وللتغلب على الأزمة يكون انفجار ثوريّ بظهور نظرة جديدة فبراديغم جديد للعلم وممارسته.

عدسة (Lens): وجمعها عدسات. نوع من المرايا يعرف باسم المرايا الكروّية تمييزاً لها من المرايا المستوية. وتصنع من كرات من الزجاج بقطع أجزاء منها. والعدسات نوعان: العدسات المحدَّبة والعدسات المقعَّرة، هكذا:

عدسة مقعَّرة	عدسة محدَّبة
الضوء ← (	الضوء ←)

والعدسات تعكس الضوء الوارد إلى سطحها. ولها استعمالات كثيرة، أهمها في صنع الميكروسكوب (المجهر) والتلسكوب (المرصد).

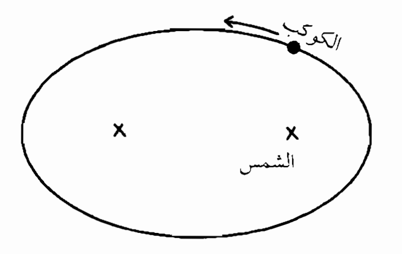
عدم إمكانية المقارنة (لاقياسية) (Incommensurability): ويفيد معناه أنه إذا وجد براديغمان أو نظرتان إلى الكون نجما عن ثورتين علميتين مختلفتين، فإنه يستحيل مقارنتهما أو ترجمة لغة إحداهما إلى لغة الأخرى. فالانقطاع بينهما انقطاع جذريّ، لعدم وجود شيء مشترك بينهما! وتجدر الملاحظة إلى أن هذا المصطلح أساسي لجهة ارتباطه بمعنى الثورة، أي ثورة.

علم الحياة (Biology): ويسمى أحياناً علم البيولوجيا، وموضوعه درس ظواهر الحياة الكبرى والدقيقة التي لا ترى إلا بواسطة المجهر. ومن الظواهر التي يدرسها هذا العلم نذكر ما يلي على سبيل المثال: الخلية، والنسيج المؤلف من مجموعة خلايا، الجسم الحي، والجينات (Genes) (أي الصيغ المورِّثة)، والاستنساخ

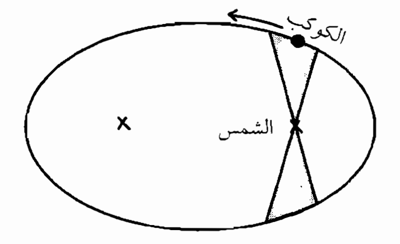
(Cloning) الذي ابتدأ باستنساخ النعجة (Dolly) في أحد المختبرات العلمية في بريطانيا.

علم الفلك (Astronomy): وهو مختصٌّ بدرس ظواهر السماء من كواكب (أي نجوم متحركة) ونجوم (ثابتة) وما يتعلق بهما. وقد بدأ بالعالم اليوناني القديم بطليموس (137 قبل الميلاد) الذي حسب الأرض (أرضنا) مركزاً للكون والشمس تدور حولها (Geocentrism)، ثم انتهى بالعالم الألماني كبلر (1618) مروراً بالعالم اليوناني كوبرنيكوس. وكان كبلر وكوبرنيكوس قبله حسبا الشمس مركزاً والأرض هي التي تدور حولها (Heliocentrism). وقد نجح كبلر بوضع قوانين علم الفلك الحديث، وهي:

1 ـ مسار (فلك) كل كوكب يدور حول الشمس هو قطع ناقص تقع الشمس في إحدى بؤرتيه. هكذا:



2 ـ الشعاع (السهم) الذي يصل الكوكب بالشمس يمسح (يغطي) مساحات متساوية في فترات زمنية متساوية. هكذا:



3 ـ مربّع الزمن (ز) الذي يقتضيه دوران كوكب دورة واحد كاملة حول الشمس يتناسب تناسباً طردياً مع مكعّب بعده (ب) عن

الشمس. هكذا: ز^{2} = ثا . ب^{3} حيث ز، ب، ثا، ترمز على التوالي إلى الزمن والبعد، وعدد ثابت له علاقة بوحدات القياس المستعملة. وتجدر الإشارة إلى أن علماء الفلك يفيدون بأن الكون يتألف من عوالم كثيرة، وما عالمنا الشمسي سوى واحد منها. أما كواكب عالمنا، المكتشفة حتى الآن، فهي: الأرض (Earth)، والمرّيخ (Mars)، وعطارد (Mercury)، والزهرة (Venus)، والمشتري (Jupiter)، وزُحَل (Saturn)، ونبتون (Neptune)، وبلوتو (Pluto)، وأورانوس (Uranus)، وكلُها يدور حول الشمس، وأقربها إليها، بعد الأرض، هو المرّيخ.

علم الكيمياء (Chemistry): ويدرس العناصر (Elements) التي تتألف منها مواد الطبيعة وعمليات تشكيلها لما يسمى خلائط (Mixtures) ومركّبات (Compounds). في الخليط تحافظ العناصر على خواصها كما هي، أما في المركّب فتنتج جسماً جديداً كل الجدّة ويكون له خصائصه المختلفة. وكمثل عن المركب نذكر اتحاد غاز الهيدروجين (H) وغاز الأوكسجين (O) الذي ينتج الماء. ويعبر عن المركب الحاصل، عادة، وبلغة الكيمياء الرمزية، بواسطة ما يسمى بالمعادلة الكيميائية. فالمثل السابق، يمكن كتابته على النحو التالي: (ماء).

علم طبيعي (Natural Science): وهو العلم الذي ينكبُّ ممارسوه على دراسة الظواهر الطبيعية بواسطة ما يسمى بالمنهج العلمي الذي يبدأ بملاحظة الظواهر وقياسها قياساً كمياً ثم الانتهاء بالكشف عن قوانينها الرياضية أو وضع فرضيات تشرحها. وفي رأس قائمة العلوم الطبيعية نذكر علم الفيزياء، وعلم الكيمياء، وعلم الفلك. والحقيقة التاريخية هي أن علم الفيزياء (والفيزياء معناها الطبيعة) هو العلم الطبيعي بامتياز، والعلوم الأخرى، بما في ذلك ما

يسمى بالعلوم الإنسانية، مثل علم الاجتماع، وعلم الاقتصاد، وعلم النفس وعلم التاريخ، وغيرها اتخذت من علم الفيزياء مثالاً يحتذى لتتمتع بوصف العلوم.

علم عادي (Normal Science): هو العلم المؤلف من قواعد وتقاليد وقيم وتقنيات التي يطبقها ويمارسها متّحد من العلماء (Community). إنه العلم المألوف الذي تمّ تأسيسه بعد نشوء ثورة علمية ذات نظرة إلى الكون جديدة فبراديغم جديد. وهو يظل علماً إلى أن يُخفق في حلّ مشكلات أو أحجيات علمية طارئة. حالتئذٍ يسقط عالمه ليقوم محلّه عالم جديد ذو نظرة وبراديغم جديدين.

فوتون (Photon): هو الجزء المكوّن للضوء. وقد قال به علماء الفيزياء بعد أن عجزت نظريات الضوء السابقة، بخاصة النظرية الموجيّة، عن شرح بعض الظواهر مثل ظاهرة تولد تيار كهربائي في سلك في دارة (Circuit) بعد تسليط ضوء قويّ على صفيحة معدنية رقيقة جداً وموصولة بالدارة. هكذا: وكان الشرح بالقول، إن الضوء يتألف من رُزَم (جمع رزمة) من الطاقة، كل واحدة منها فوتون. وعندما تسقط الفوتونات على الصفيحة المعدنية الرقيقة وتصطدم بالإلكترونات المحيطة بذراتها التي تكون الأبعد عن نُواها (جمع نواة)، فإنها تجرفها داخل السلك المؤلف للدارة، فيتكون منها تيّار هو التيار الكهربائي الذي تشير إبرة مقياس الأمبير إلى وجوده.

قضية تحليلية (تحصيل حاصل) (Tautology): مصطلح يخصّ علم المنطق. ومعناها تحصيل الحاصل. ويعبر عنها في اللغة العربية الشعرية بالقول: وفسَّر الماء بعد الجهد بالماء. أي إن الإنسان لم يتقدم بمعرفتنا بالشيء المدروس بمثقال ذرة. لذا، تعتبر القضية (الجملة أو العبارة) تحليلية. أي هي هي (حشو)، وأحياناً توصف بأنها تحصيل حاصل.

كسوف (Eclipse): الكسوف من مصطلحات علم الفلك. وظاهرة الكسوف ظاهرتان هما كسوف الشمس وكسوف القمر الذي يعرف في العربية بخسوف القمر. والكسوف عموماً معناه انحجاب رؤية الشيء. ويكون ذلك بسقوط ظلّ القمر على الأرض في حالة كسوف الشمس، عندما يتوسّط القمر ما بين الشمس والأرض. كما يكون بسقوط ظل الأرض على سطح القمر في حالة كسوف القمر، عندما تتوسّط الأرض ما بين الشمس والقمر.

لاهوت (Theology): ويعني علم الله. ذلك لأن المصطلح مؤلف أصلاً من كلمتين يونانيتين، هما: «Theos» ومعناها الله، و«Logos» ومعناها العلم (أو المنطق). واللاهوت في أيامنا يعني الدراسات الدينية المتعلقة بالألوهة، وحقيقتها، ووحدانيتها، وصفاتها، وما شابه. وتجدر الإشارة إلى أن الدراسات اللاهوتية دراسات مسيحية جوهرياً. ويقابلها، في الإسلام، وإلى حدٍّ ما، ما يسمى بالفقه.

متغير (Variable): مصطلح مهم من مصطلحات علم الرياضيات. وقد استفيد منه كثيراً في العلوم الأخرى. وهو، عادة، يرمز عادة إلى العناصر أو المكوّنات أو الظواهر المتغيرة للكشف عن علاقاتها ببعضها البعض، ولمعرفة ما إذا كانت هناك علاقة سببيّة (سبب ونتيجة (Causality)) أو علاقة ترابطية (Correlation) مثل علاقة القوة (f) التي تنطبق على جسم كتلته (m)، وتجعله يتحرك بسرعة ذات تسارع (a). هكذا: $f = ma$ فالقوة والتسارع هنا مترابطان. وتجدر الإشارة إلى أن قوانين العلوم ذات الصيغ الرياضية تتألف، كلها، من متغيرات ذات علاقات ترابطية. وهي تشبه ما يسميه علماء الرياضيات بالدوالّ (جمع دالة) أو التوابع (جمع تابع). وعادة ما تكون على صورة (دالة أو تابع) $y = ax + b$ $y = ax^2 + bx + c$ $y = ax^3 + ...$

مثير (Stimulus): ويعني كل ما يولِّد استجابةً (Response) من قِبَل الكائن الحي. فإذا سمع طالب اسمه في الصف، فإنه يجيب بنعم. فاسمه مثير، ونعم استجابة، أي سلوك محدّد اقتضاه. وبصورة عامة يقول أتباع المذهب السلوكي في علم النفس، وعلى رأسهم الأمريكي واطسون (Watson)، إن بيئة الكائن الحي عموماً، والإنسان تحديداً، تزخر بالمثيرات من كل نوع، يقابلها تصرفات سلوكية من كل نوع، حتى صار علم النفس بين أيديهم عبارة عن علم سلوك لا أكثر ولا أقل. وقد بالغ بعضهم في اعتقاده ذاك إلى حدّ القول، أعطوني أطفالكم فأصنع منهم ما تشاؤون، عانياً أنه قادر، بوضعهم في محيط مناسب مؤلف من مثيرات مناسبة للهدف التربوي المطلوب. فإذا رغب أحد بأن يصير ولده موسيقياً، فما عليه إلا أن يجعله يعيش في بيئة تتألف من مثيرات لسلوك موسيقي، مثل الآلات الموسيقية والأصوات الموسيقية، وما شابه.

موازاة (أو توازي) (Parallelism): وهذا من مصطلحات فرع الهندسة في علم الرياضيات. ويستخدم بمعنى التشبيه (Similarity) لأن الخطين المستقيمين المتوازيين هما أصلاً متشابهان حتى التطابق أو المطابقة. وهذه الحقيقة تظهر إذاً اقتراباً من بعضهما، مع البقاء على توازيهما، فإنهما ينطبقان ويظهران خطّاً مستقيماً واحداً!

نظرية المعرفة (Epistemology): هي ذلك الفرع من الفلسفة الذي يدرس طبيعة المعرفة ومصادرها، وطرائفها وحدودها وصحتها.

والمصطلح مشتق من اليونانية (episteme) إلستمي، أي المعرفة أو العلم، ولوغوس (logos) التفسير أو المنطق. وقد دخل هذا المصطلح الإنجليزية على يد الفيلسوف السكوتلندي جايمس فريدريخ فيرييه (1804 ـ 1864).

وقد دار معظم النقاش في موضوع الإبستيمولوجيا على تحليل طبيعة المعرفة وصلتها بمقولات أخرى مثل الحقيقة والإعتقاد والتصديق والتكذيب: كما أن الإبستيمولوجيا تتعاطى مع عملية إنتاج المعرفة، ومع الريب حيال الإدعاءات والمزاعم بالمعرفة.

وبكلمة موجزة، هي تطرح السؤال التالي: ما هي المعرفة؟ وكيف تُكتسب المعرفة؟ وماذا يعرف الناس؟

النظرية النسبية (Relativity): ساد الاعتقاد في مدرسة التفكير النيوتوني أن الحركة مطلقة. وهذا معناه أن الزمان والمكان مطلقان. لكن العالم الفيزيائي ألبرت إينشتاين غيّر هذه النظرة من أساسها. ففي بحثه المختصّ بموضوع «الحركة الكهربائية للأجسام المتحركة» وضع نظرية جديدة عرفت باسم «النظرية النسبية الخاصة». تجدر الملاحظة أن إينشتاين اعتمد في بناء نظريته على ما وصلت إليه أبحاث العالم الفيزيائي هندريك لورنتز. أما جوهر النظرية الجديدة، فكان رفضاً لمبدأ الحركة المطلقة والقانون الناجم عنه الذي عرف باسم قانون «القصور الذاتي الذي يفيد أن الأجسام عاطلةٌ عن الحركة أو السكون. فالجسم الساكن يظل ساكناً والمتحرك يظل متحركاً حركة مستقيمة منتظمة ما لم تؤثر فيه قوة خارجية تبدِّل من وضعه. إذاً، الكلام عن «حركة مطلقة» لا معنى له. والبديل عند إينشتاين هو أن حركة الأجسام هي نسبية للمراقب. وبصورة تحديدية قيل إن سرعة الجسم واتجاهه هما نسبيّان للمراقب. فلا يوجد في الكون موضع يمكن اعتباره مرجعاً لحركة مطلقة. ومن النتائج النظرية المهمة للنسبية اعتبار الكتلة معادلة للطاقة أو أن نقول إن الكتلة، كتلة الجسم المتحرك، تتحول إلى طاقة، والعكس بالعكس، إذا كانت سرعة الجسم مقاربةً لسرعة الضوء التي تبلغ 300,000 كم/ ثا أو 80,000 ميل/ ثا. وقد عبّر إينشتاين عن ذلك بالقانون التالي: الطاقة = الكتلة × مربع سرعة

الضوء^2 $E = mc^2$. بالإضافة إلى «النظرية النسبية الخاصة» وضع إينشتاين «النظرية النسبية العامة» في ما بعد. وقد نال على اكتشافاته المشار إليها وغيرها جائزة نوبل.

ثبت المصطلحات

Ether	أثير
Perception	إدراك حسي
Electric Displacement	إزاحة كهربائية
Polarization	استقطاب
X-Rays	أشعة سينية
Cathode Rays	أشعة مهبطية
Thesis	أطروحة
Electron	إلكترون
Reflection of Light	انعكاس الضوء
Refraction	انكسار
Combining Weights	أوزان الاتحاد الكيميائي
Optics	بصريات
Elective Affinity	تآلف انتقائي
Gravitational Attraction	تجاذب ثقالي

Verification of Theory	تحقق من صحة نظرية
Analytic-Synthetic	تحليل تركيبي
Overlap	تداخل
Composition	تركيب
Acceleration	تسارع
Concept	تصوّر
Calendar	تقويم زمني (روزنامة)
Falsification of Theory	تكذيب النظرية
Electrostatic Repulsion	تنافر كهرسكوني
Molecule	جزيء
Corpuscle	جسيم
Gestalt	جشطالت (نظرة كلية)
Circular Argument	حجّة الحلقة المفرغة
Intuition	حَدْس
Specific Heat	حرارة نوعية
Oscillatory Motion	حركة اهتزازية
Transverse Wave Motion	حركة موجية عرضية
Scientific Field	حقل علمي
Circularity	حلقة مفرغة (تحصيل حاصل)
Acidity	حموضة
Idiosyncrasy	خصوصيات العقل البشري
Mixture	خليط

Subatomic	دون ذري
Dynamics	ديناميكا
Atom	ذرّة
Graph	خط بياني
Aberration	زيغ (حيود)
Velocity	سرعة
Inclined Plane	السطح المستوي المائل
Calorie	سُعرة، كالوري
Occult Quality	صفة خفيّة
Mystic	صوفيّ
Kinetic Energy	طاقة حركية
Wave Length	طول الموجة
Spectrum	طيف
Phenomenon	ظاهرة
Photo-Electric Effect	الظاهرة الكهرضوئية
Lens	عدسة
Meteorology	علم الأرصاد الجوية
Taxonomy	علم التصنيف
Aesthetics	علم الجمال
Biology	علم الحياة/ بيولوجيا
Astronomy	علم الفلك
Chemistry	علم الكيمياء

Natural Science	علم طبيعي
Normal Science	علم عادي (ذو قواعد ثابتة)
Photon	فوتون
Electrical Conductivity	قابلية التوصيل الكهربائي
Law of Fixed Proportions	قانون النسب الثابتة
Tautology	قضية تحليلية (صادقة دائماً)
Force	قوة
Mass	كتلة
Quantum	كَمّ
Theology	لاهوت
Variable	متغير
Stimulus	مثير، منبّه
Galaxy	مجرّة
Ad Hoc	مخصَّص لهدف محدد
Orbit	مدار/ فلك
Telescope	مرصد
Compound	مركَّب
Conception	مفهوم
Absolute Space	مكان مطلق
Parallelism	موازاة
Matrix Mechanics	ميكانيكا المصفوفات
Theory	نظرية

Chemical Affinity Theory	نظرية التآلف الكيميائي
Caloric Theory of Heat	نظرية السيّال الحراري
Epistemology	نظرية المعرفة
Theory of Relativity	نظرية النسبية
Theory of Energy Conservation	نظرية حفظ الطاقة
Geocentrism	نظرية مركزية الأرض
Heliocentrism	نظرية مركزية الشمس
Nuclear Theory	نظرية نووية
Pendulum	نواس
Vibrating String	وتر مهتزّ
Atomic Weight	وزن ذرّي



المراجع

1 ـ العربية

كتب

بوبر، كارل. **منطق البحث العلمي**. ترجمة محمد البغدادي. بيروت: المنظمة العربية للترجمة، 2006. (أصول المعرفة العلمية)

رسل، برتراند. **أصول الرياضيات**. ترجمة محمد مرسي أحمد وأحمد فؤاد الأهواني. القاهرة: دار المعارف، 1964. 4 ج.

قاسم، محمد محمد. **في الفكر الفلسفي المعاصر: رؤية علمية**. [بيروت]: دار النهضة العربية، 2000.

ندوة

المجتمع المدني في الوطن العربي ودوره في تحقيق الديمقراطية: بحوث ومناقشات الندوة الفكرية التي نظمها مركز دراسات الوحدة العربية. بيروت: المركز، 1992.

2- الأجنبية

Books

Althusser, Louis and Etienne Balibar, *Reading Capital*. Translated by Ben Brewster. London: NLB, 1975.

Bacon, Francis. *The Works of Francis Bacon*. Edited by James Spedding, Robert Leslie Ellis and Douglas Denon Heath. New york: [n. pb.], 1869.

vol. VIII: *Novum Organum*.

Bernoulli, Daniel. *Hydrodynamica sive de viribus et motibus fluidorum commentarii Opus Academicum*. Strasbourg: [Johann Reinhold Dulsseker], 1738.

Braithwaite, Richard Bevan. *Scientific Explanation; A Study of the Function of Theory, Probability and Law in Science, Based Upon the Tarner Lectures, 1946*. Cambridge, MA: [Cambridge University Press], 1953.

Brunet, Pierre. *L'Introduction des théories de Newton en France au XVIIIe siècle*. Paris: [A. Blanchard], 1931.

Burtt, Edwin Arthur. *The Metaphysical Foundations of Modern Physical Science: A Historical and Critical Essay*. 2nd ed. rev Edition. New York: [Humanities Press], 1932.

Butterfield, Herbert. *The Origins of Modern Science, 1300-1800*. London: [G. Bell], 1949.

Carr, Harvey. *An Introduction to Space Perception*. New York: [Longmans, Green and co.], 1935. (Longman's Psychology Series)

Cavell, Stanley. *Must We Mean What We Say? A Book of Essays*. New York: [Scribner], 1969.

Chalmers, Alan Francis. *What Is This Thing Called Science?*. Buckingham: Open University Press, 1999.

Chalmers, Thomas Wightman. *Historic Researches; Chapters in the History of Physical and Chemical Discovery*. London: [Morgan Bros.], 1949.

Clagett, Marshall (ed.). *Critical Problems in the History of Science; Proceedings*. Madison, Wis.: [University of Wisconsin Press], 1959.

———. *Giovanni Marliani and Late Medieval Physics*. New York: [n. pb.], 1941.
———. *The Science of Mechanics in the Middle Ages*. Madison, Wiss.: University of Wisconsin Press, 1959. (University of wisconsin Publications in Medieval Science; 4)
Cohen, I. Bernard. *Franklin and Newton; an Inquiry into Speculative Newtonian Experimental Science and Franklin's Work in Electricity as an Example Thereof*. Philadelphia: [American Philosophical Society], 1956. (Memoirs of the American Philosophical Society; v. 43)
Conant, James Bryant. *The Overthrow of the Phlogiston Theory; the Chemical Revolution of 1775-1789*. Cambridge, MA: Harvard University Press, 1950. (Harvard Case Histories in Experimental Science; Case 2)
Darwin, Charles. *On the Origin of Species by Means of Natural Selection; or The Preservation of Favored Races in the Struggle for Life*. Authorized Edition from 6th English ed. New York: [n. pb.], 1889.
Daumas, Maurice. *Lavoisier, théoricien et expérimentateur*. Paris: [s. n.], 1955.
Davies, John James. *On the Scientific Method: How Scientists Work*. Harlow: Longmans, 1968. (General Studies)
Doig, Peter. *Concise History of Astronomy*. With a Foreword by Sir Harold Spencer Jones. London: [Chapman and Hall], 1950.
Dreyer, John Louis Emil. *A History of Astronomy from Thales to Kepler, Formerly Titled History of the planetary systems from Thales to Kepler*. Rev. with a Foreword by W. H. Stahl. 2nd ed. New York: [Dover Publications], 1953.
Dugas, René. *Histoire de la mécanique*. Préf. de Louis de Broglie. Neuchatel: [Editions du Griffon], 1950. (Bibliothèque scientifique; 16)
———. *A History of Mechanics*. Foreword by Louis de Broglie; Translated into English by J. R. Maddox. Neuchatel: [Editions du Griffon], 1955.
———. *Histoire de la mécanique*. Préface de Louis de Broglie. Neuchâel: [Editions du Griffon], 1950. (Bibliothèque scientifique; 16)
——. *La Mécanique au XVIIe siècle, des antécédents scolastiques*

à la pensée classique. Neuchâtel: [Editions du Griffon], 1954.

———. *La Théorie physique au sens de Boltzmann et ses prolongements modernes*. Préf. de Louis de Broglie. Neuchâtel: [Griffon], 1959. (Bibliothèque scientifique; 33)

Dupree, A. Hunter. *Asa Gray, 1810-1888*. Cambridge, MA: [Belknap Press of Harvard University Press], 1959.

Edwards, Paul and Arthur Pap (eds.). *A Modern Introduction to Philosophy; Readings from Classical and Contemporary Sources*. 3rd ed. New York: Free Press, [1972]. (Free Press Textbooks in Philosophy)

Eiseley, Loren C. *Darwin's Century: Evolution and the Men who Discovered it*. Garden City, NY: [Doubleday], 1958. (Doubleday Anchor Books)

Encyclopaedia Britannica. 11th ed. Cambridge, MA: [n. pb.], 1910-1911.

Feyerabend, Paul. *Against Method*. London; New York: Verso, 1980.

———. *Against Method: Outline of an Anarchistic Theory of knowledge*. London: Verso, 1975.

Fierz, Markus and V. F. Weisskopf (ed.). *Theoretical Physics in the Twentieth Century; a Memorial Volume to Wolfgang Pauli*. New York: [Interscience Publishers], 1960.

Frank, Philipp. *Einstein, His Life and Times*. Translated from a German Manuscript by George Rosen; Edited and Revised by Shuichi Kusaka. New York: [A. A. Knopf], 1947.

Franklin, Benjamin. *Memoirs*. Parallel Text ed. Berkeley: [University of California Press], 1949.

Galilei, Galileo. *Dialogues Concerning Two New Sciences*. Translated from the Italian and Latin into English by Henry Crew and Alfonso de Salvio. Evanston, Ill: Northwestern University, 1946.

Garfield, Eugene (dir.). *The Use of Citation Data in Writing the History of Science*. Irving H. Sher, Director of Research; Richard J. Torpie, Research Associate. Philadelphia: [n. pb.], 1964.

Gillispie, Charles Coulston. *The Edge of Objectivity; an Essay in the History of Scientific Ideas*. Princeton, NJ: [Princeton University Press], 1960.

———. *Genesis and Geology, a Study in the Relations of Scientific Thought, Natural Theology, and Social Opinion in Great Britain, 1790-1850*. Cambridge, MA: Harvard University Press, 1951. (Harvard Historical Studies; v. 58)

Glazebrook, Richard Tetley. *James Clerk Maxwell and Modern Physics*. London: [Cassell and Co.], 1896. (Century Science Series)

Gombrich, Ernst Hans. *Art and Illusion; a Study in the Psychology of Pictorial Representation*. New York: [Pantheon Books], 1960. (Bollingen Series; 35. A. W. Mellon Lectures in the Fine Arts; 5)

Goodman, Nelson. *The Structure of Appearance*. Cambridge, MA: [Harvard University Press], 1951.

Guerlac, Henry. *Lavoisier - the Crucial Year: The Background and Origin of His First Experiments on Combustion in 1772*. Ithaca, NY: [Cornell University Press], 1961.

Hadamard, Jacques. *The Mathematician's Mind: The Psychology of Invention in the Mathematical Field*. Princeton, NJ: [Princeton University Press], 1949.

Hagstrom, Warren O. *The Scientific Community*. New York: [Basic Books], 1965.

Hall, Alfred Rupert. *The Scientific Revolution, 1500-1800; the Formation of the Modern Scientific Attitude*. London; New York: [Longmans, Green], 1954.

Hall, Marie Boas. *Robert Boyle and Seventeenth-Century Chemistry*. Cambridge, MA: Cambridge University Press, 1958.

Hanson, Norwood Russell. *Patterns of Discovery; an Inquiry into the Conceptual Foundations of Science*. Cambridge, Ma: [Cambridge University Press], 1958.

Heath, Thomas Little. *Aristarchus of Samos, the Ancient Copernicus. A History of Greek Astronomy to Aristarchus, Together with Aristarchus's Treatise on the Sizes and Distances of the Sun and Moon: A New Greek Text with Translation and Notes*. Oxford: [Clarendon press], 1913.

Hoppe, Edmund. *Geschichte der elektrizität*. Leipzig: [J. A. Barth], 1884.

Hübner, Kurt. *Critique of Scientific Reason*. Translated by Paul R. Dixon and Hollis M. Dixon. Chicago: University of Chicago Press, 1983.

Hume, David. *An Enquiry Concerning Human Understanding.*
Hymes, Dell (ed.). *Language in Culture and Society; a Reader in Linguistics and Anthropology.* New York: [Harper and Row], 1964.
James Clerk Maxwell; a Commemoration Volume, 1831-1931. Essays by Sir. J. J. Thomson [et al.]. Cambridge, MA: [Cambridge University press], 1931.
Jammer, Max. *Concepts of Space; the History of Theories of Space in Physics.* Foreword by Albert Einstein. Cambridge, MA: [Harvard University Press], 1954.
Koenigsberger, Leo. *Hermann von Helmholtz.* Trans. by Frances A. Welby; with a Preface by Lord Kelvin. Oxford: [Clarendon press], 1906.
Koestler, Arthur. *The sleepwalkers: A History of Man's Changing Vision of the Universe.* With an Introduction by Herbert Butterfield. London: [n. pb.], 1959.
Kopp, Hermann. *Geschichte der chemie.* Braunschweig: [F. Vieweg und sohn], 1843-1847. 4 vols.
Koyré, Alexandre. *Etudes galiléennes.* Paris: Hermann, 1939. 3 vols. (Actualités scientifiques et industrielles; 852-854)
Vol. 1: *A l'aube de la science classique.*
Vol. 2: La *loi de la chute des corps: Descartes et Galilée.*
———. *From the Closed World to the Infinite Universe.* Baltimore: [Johns Hopkins Press], 1957. (Publications of the Institute of the History of Medicine, the Johns Hopkins University, 3rd ser.: The Hideyo Noguchi Lectures; v. 7)
———. *Mélanges Alexandre Koyré, publiés à l'occasion de son soixante-dixième anniversaire.* Paris: Hermann, [1964]. 2 vols. (Histoire de la pensée; 12-13)
Vol. 1: *L'Aventure de la science.*
Kuhn, Thomas S. *The Copernican Revolution; Planetary Astronomy in the Development of Western Thought.* Cambridge, MA: [Harvard University Press], 1957.
Larmor, Joseph. *Aether and Matter...Including a Discussion of the Influence of the Earth's Motion on Optical Phenomena.* Cambridge: [n. pb.], 1900.
Lehman, Harvey Christian. *Age and Achievement.* Princeton: [Princeton University Press], 1953. (American Philosophical Society. Memoirs; v. 33)

Maier, Anneliese. *Die Vorläufer Galileis im 14. Jahrhundert. Studien zur Naturphilosophie der Spätscholastik*. Roma: [Edizioni di «storia e letteratura»], 1949.

Marshall Clagett (ed.). *Critical Problems in the History of Science; Proceedings*. Madison: University of Wisconsin Press, 1959.

Maxwell, James Clerk. *A Treatise on Electricity and Magnetism*. 3rd ed. Oxford: [Clarendon press], 1892. 2 vols. (Clarendon Press Series)

Meldrum, Andrew Norman. *The Eighteenth Century Revolution in Science - The First Phase*. Calcutta; London; New York: [Longmans, Green and co., ltd.], 1930.

Metzger, Hélène. *Les Doctrines chimiques en France du début du XVIIe à la fin du XVIIIe siècle*. Paris: [s. n.], 1923.

———. *Newton, Stahl, Boerhaave et la doctrine chimique*. Paris: [F. Alcan], 1930. (Bibliothèque de philosophie contemporaine)

———. *La Philosophie de la matière chez Lavoisier*. Paris: [Hermann et cie], 1935. (Exposés d'histoire et phislosophie des sciences)

Meyerson, Emile. *Identity and Reality*. Translated into English by Kate Lowenberg. New York: [Macmillan], 1930.

Nash, Leonard Kollender. *The Atomic-Molecular Theory*. Cambridge, MA: [Harvard University Press], 1950. (Harvard Case Histories in Experimental Science; Case 4)

Needham, Joseph. *Science and Civilisation in China*. Cambridge, MA: [Cambridge University Press, 1954-2004].

Vol. 3: *Mathematics and the Sciences of the Heavens and the Earth*.

Newton, Isaac. *Isaac Newton's Papers and Letters on Natural Philosophy, and Related Documents*. Edited with a General Introduction by I. Bernard Cohen; Assisted by Robert E. Schofield [et al.]. Cambridge: [Cambridge University Press], 1958.

———. *Sir Isaac Newton's Mathematical Principles of Natural Philosophy and his System of the World*. Translated By Florian Cajori Newton. Berkeley, Calif.: [University of California press], 1946.

Nordmann, Charles. *Einstein and the Universe; a Popular Exposition of the Famous Theory*. Trans. by Joseph McCabe; with a

Preface by the Rt. Hon. the Viscount Haldane. New York: [H. Holt], 1922.

Partington, James Riddick. *A Short History of Chemistry*. 2nd ed. London: [n. pb.], 1951.

Pascal, Blaise. *The Physical Treatises of Pascal: The Equilibrium of Liquids and the Weight of the Mass of the Air*. Translated by I. H. B. and A. G. H. Spiers; with an Introduction and Notes by Frederick Barry. New York: [Columbia University Press], 1937. (Records of Civilization, Sources and Studies; no. XXVIII)

Piaget, Jean. *The Child's Conception of Physical Causality*. Translated by Marjorie Gabain. London: [Routledge], 1930. (Developmental Psychology; 18. International Library of Psychology; 80)

———. *Les Notions de mouvement et de vitesse chez l'enfant*. Paris: [Presses universitaires de France], 1946.

Planck, Max. *Scientific Autobiography, and Other Papers*. With a Memorial Address on Max Planck, by Max von Laue; Translated from German by Frank Gaynor. New York: [Greenwood Press], 1949.

Polanyi, Michael. *Personal knowledge; Towards a Post-Critical Philosophy*. Chicago: [University of Chicago Press], 1958.

Popper, Karl R. *The Logic of Scientific Discovery*. London: Hutchinson, 1980.

———. ———. London; New York: Routledge, 1992.

———. *Objective knowledge: An Evolutionary Approach*. Oxford: Clarendon Press, 1975.

———. *The Open Society and its Enemies*. 5th ed. Revised. London: Routledge and K. Paul, 1966. 2 vols.

Popper, Karl Raimund. *The Logic of Scientific Discovery*. New York: [Basic Books, 1959].

———. ———. London: Hutchinson, 1980.

———. ———. London; New York: [Routledge], 1992.

Priestley, Joseph. *Experiments and Observations on Different kinds of Air*. London: [J. Johnson], 1775-1784. 3 vols.

———. *The History and Present State of Discoveries Relating to Vision, Light, and Colours*. London: [Printed for J. Johnson], 1772.

Les Prix Nobel en 1937. Stockholm: [Almqvist and Wiksell International], 1938.

Quine, Willard van Orman. *From a Logical Point of View: Logico-Philosophical Essays*. Cambridge, MA: [Harvard University Press], 1953.

———. *Word and Object*. Cambridge, MA; New York: [Technology Press of the Massachusetts Institute of Technology], 1960. (Studies in Communication)

Rayleigh, Robert John Strutt. *John William Strutt, Third Baron Rayleigh*. New York: Longmans, Green and co.; London: E. Arnold and co., 1924.

Reiche, Fritz. *The Quantum Theory*. Trans. by H. S. Hatfield and Henry L. Brose. London: [Methuen and Co.], 1922.

Roller, Duane Emerson and Duane H. D. Roller. *The Development of the Concept of Electric Charge; Electricity from the Greeks to Coulomb*. Cambridge, MA: [Harvard University Press], 1954. (Harvard Case Histories in Experimental Science; Case 8)

Ronchi, Vasco. *Histoire de la lumière*. Traduit par Juliette Taton. Paris: [s. n.], 1956.

Scheffler, Israel. *Science and Subjectivity*. New York: [Bobbs Merrill Co., Inc.], 1967.

Schilpp, Paul Arthur (ed.). *Albert Einstein, Philosopher-Scientist*. Evanston, Ill.: [Library of Living Philosophers], 1949. (Library of Living Philosophers; v. 7)

Simon, Herbert A. [et al.]. *Mind and Cosmos; Essays in Contemporary Science and Philosophy*. Edited by Robert G. Colodny. Pittsburgh: [University of Pittsburgh Press], 1966. (University of Pittsburgh Series in the Philosophy of Science; v. 3)

Taylor, Lloyd William. *Physics, the Pioneer Science*. With the Collaboration in the Chapters on Modern Physics of Forrest Glenn Tucker. Boston; New York: [Houghton Mifflin Company], 1941.

Thompson, Silvanus Phillips. *The Life of William Thomson, Baron Kelvin of Largs*. London: [Macmillan], 1910. 2 vols.

Ullmo, Jean. *La Crise de la physique quantique*. Paris: [s. n.], 1950.

Weber, Max. *From Max Weber: Essays in Sociology*. Translated

and Edited by H. H. Gerth and C. Wright Mills. London: Routledge; Kegan Paul, 1947.

Whewell, William. *History of the Inductive Sciences, from the Earliest to the Present Time*. Rev. ed. London: [J. W. Parker], 1847. 3 vols.

Whittaker, Edmund Taylor. *A History of the Theories of Aether and Electricity*. Rev. and enl. ed. London; New York: [T. Nelson, 1951- 1953]. 2 vols.

Vol. 1: *The Classical Theories*.

Vol. 2: *The Modern Theories, 1900-1926*.

Whorf, Benjamin Lee. *Language, Thought, and Reality; Selected Writings*. Edited and with an Introd. by John B. Carroll; Foreword by Stuart Chase. [Cambridge]: Technology Press of Massachusetts Institute of Technology, [1956]. (Technology Press Books in the Social Sciences)

Wittgenstein, Ludwig. *Philosophical Investigations*. Translated by G. E. M. Anscombe. New York: [Macmillan], 1953.

Wolf, Abraham. *History of Science, Technology, and Philosophy in the Eighteenth Century*. 2nd ed. rev. by D. McKie. London: [Allen and Unwin], 1952. (History of Science Library)

Wolf, Rudolf. *Geschichte der Astronomie*. München: [R. Oldenbourg], 1877. (Geschichte der Wissenschaften in Deutschland. Neuere Zeit; 16)

Periodicals

Barber, Bernard. «Resistance by Scientists to Scientific Discovery.» *Science*: Vol. 134, issue 3479, September 1961.

Barron, Frank. «The Psychology of Imagination,» *Scientific American*: Vol. 199, September 1958.

Boas, Marie. «The Establishment of the Mechanical Philosophy.» *Osiris*: Vol. 10, 1952.

Bocklund, Uno. «A Lost Letter from Scheele to Lavoisier.» *Lychnos*: Vol. 39, 1957-1958.

Brown, M. «The Electric Current in Early Nineteenth-Century French Physics,» *Historical Studies in the Physical Sciences* (Berkeley): Vol. 1, 1969.

Bruner, Jerome S. and Leo Postman. «On the Perception of

Incongruity: A Paradigm.» *Journal of Personality*: Vol. 18, 1949.

——— and John Rodrigues. «Expectations and the Perception of Color.» *American Journal of Psychology*: Vol. 64, 1951.

Cannon, Walter F. «The Uniformitarian-Catastrophist Debate.» *Isis*: Vol. 51, 1960.

Charles C. Gillispie, «The Formation of Lamarck's Evolutionary Theory,» *Archives Internationales d'Histoire des Sciences* (Roma): No. 37, 1956.

Cowan, C. L. (Jr.). «Detection of the Free Neutrino: A Confirmation." *Science*: Vol. 124, issue 3212, 1956.

Crane, Diane. «Social Structure in a Group of Scientists: A Test of the 'Invisible College' Hypothesis.» *American Sociological Review* (Albany, NY): Vol. 34, no. 3, June 1969.

Darrow, K. K. «Nuclear Fission,» *Bell System Technical Journal* (Short Hills, NJ): Vol. 19, 1940.

Feyerabend, Paul. «Marxist Fairytales from Australia.» *Inquiry*: Vol. 20, 1977.

———. «Review Articles: Changing Patterns of Reconstruction.» *British Journal for the Philosophy of Science*: Vol. 28, no. 4, December 1977.

Foucault, M. L. «Methode générale pour mesurer la vitesse de la lumière dans l'air et les milieux transparants. Vitesses relatives de la lumière dans l'air et dans l'eau. Projet d'expérience sur la vitesse de propagation du calorique rayonnant.» *Comptes rendus de l'académie des sciences* (Paris): Vol. 30, 1850.

Hahn, Otto and Fritz Strassman, «Uber den Nachweis und das Verhalten der bei der Bestrahlung des Urans mittels Neutronen entstehenden Erdalkalimetalle,» *Die Naturwissenschaften*: Vol. 37, 1939.

Hankins, Thomas. «The Reception of Newton's Second Law of Motion in the Eighteenth Century.» *Archives Internationales d'Histoire des Sciences*: No. 20, 1967.

Hastorf, Albert H. «The Influence of Suggestion on the Relationship between Stimulus Size and Perceived Distance,» *Journal of Psychology*: Vol. 29, 1950.

Kessler, M. M. «Comparison of the Results of Bibliographic Coupling and Analytic Subject Indexing.» *American Doc-*

umentation (Washington): Vol. 16, no. 3, 1965.

Koyré, Alexandre «A Documentary History of the Problem of Fall from Kepler to Newton.» *Transactions of the American Philosophical Society*: Vol. 45, 1955.

———. «Galileo and Plato.» *Journal of the History of Ideas* (Baltimore): Vol. 4, 1943.

Kubie, Lawrence, «Some Unsolved Problems of the Scientific Career, I.» *American Scientist*: Vol. 41, no. 4, April 1953.

———. «Some Unsolved Problems of the Scientific Career, II.» *American Scientist*: Vol. 42, no. 1, January 1954.

Kuhn, Thomas S. «The Caloric Theory of Adiabatic Compression.» *Isis*: Vol. 49, 1958.

———. «Comment [on the Relations of Science and Art].» *Comparative Studies in Philosophy and History*: Vol. 11, 1969.

———. «Engineering Precedent for the Work of Sadi Carnot.» *Archives internationales d'histoire des sciences* (Roma): No 13, 1960.

———. «The Function of Measurement in Modern Physical Science.» *Isis* (Chicago): Vol. 52, 1961.

———. «The Historical Structure of Scientific Discovery.» *Science*: Vol. 136, June 1962.

———. «Robert Boyle and Structural Chemistry in the Seventeenth Century.» *Isis*: Vol. 43, no. 1, April 1952.

———. «Sadi Carnot and the Cagnard Engine.» *Isis* (Chicago): Vol. 52, 1961.

Meinhard, James E. «Chromatography: A Perspective.» *Science*: Vol. 110, issue 2859, October 1949.

Meldrum, Andrew Norman. «The Development of the Atomic Theory: (1) Berthollet's Doctrine of Variable Proportions,» *Memoirs and Proceedings of the Manchester Literary and Philosophical Society (Manchester Memoirs)* (London): Vol. 54, no. 7, 1910.

———. «The Development of the Atomic Theory: (6) The Reception Accorded to the Theory Advocated by Dalton.» *Memoirs and Proceedings of the Manchester Literary and Philosophical Society (Manchester Memoirs)*: Vol. 55, 1911.

Nagel, Ernest. «*Principles of the Theory of Probability*.» *International Encyclopedia of Unified Science* (Chicago): Vol. 1, no. 6 (1939).

Nash, Leonard Kollender. «The Origin of Dalton's Chemical Atomic Theory.» *Isis*: Vol. 47, 1956.

Partington, James Riddick and Douglas McKie. «Historical Studies on the Phlogiston Theory, I: The Levity of Phlogiston.» *Annals of Science*: Vol. 2, 1937.

———. «Historical Studies on the Phlogiston Theory, II: The Negative Weight of Phlogiston.» *Annals of Science*: Vol. 3, 1938.

———. «Historical Studies on the Phlogiston Theory, III: Light and Heat in Combustion.» *Annals of Science*: Vol. 3, 1938.

———. «Historical Studies on the Phlogiston Theory, IV: Last Phases of the Theory.» *Annals of Science*: Vol. 4, 1939.

Philosophy of Science: Vol. 25, 1958.

Price, Derek de Solla. «Networks of Scientific Papers,» *Science*: Vol. 149, July 1965.

——— and D. Beaver. «Collaboration in an Invisible College.» *American Psychologist* (Washington): Vol. 21, November 1966.

Schagrin, Morton. «Resistance to Ohm's Law.» *American Journal of Physics* (New York): Vol. 31, issue 7, 1963.

Schiff, L. I. «A Report on the NASA Conference on Experimental Tests of Theories of Relativity.» *Physics Today* (New York): Vol. 14, 1961.

Senior, James K. «The Vernacular of the Laboratory.» *Philosophy of Science*: Vol. 25, 1958.

Shapere, Dudley. «The Structure of Scientific Revolutions.» *Philosophical Review* (Ithaca, NY): Vol. 73, no. 3, July 1964.

Stratton, George M. «Vision without Inversion of the Retinal Image.» *Psychological Review*: Vol. 4, 1897.

Truesdell, Clifford. «A Program Toward Rediscovering the Rational Mechanics of the Age of Reason.» *Archive for History of Exact Sciences* (Berlin; New York): Vol. 1, 1960.

———. «Reactions of Late Baroque Mechanics to Success, Conjecture, Error, and Failure in Newton's Principia.» *Texas Quarterly* (Austin): Vol. 10, 1967.

Walker, W. C. «The Detection and Estimation of Electric Charges in the Eighteenth Century.» *Annals of Science* (Philadelphia): Vol. 1, 1936.

Thesis

Mullins, N. C. «Social Networks Among Biological Scientists.» (Ph. D. Dissertation, Harvard University, 1966).

Conference

Annual Meeting of the American Sociological Association, Boston, 1968.

Criticism and the Growth of Knowledge. Edited by Imre Lakatos and Alan Musgrave. Cambridge, MA: Cambridge University Press, 1970. (Its Proceedings; v. 4)

Scientific Change; Historical Studies in the Intellectual, Social, and Technical Conditions for Scientific Discovery and Technical Invention, from Antiquity to the present. Symposium on the History of Science, Oxford, 9-15 July 1961. Edited by A.C. Crombie. London: Heinemann Educational Books, [n. d.]. [وقد صدر فعلاً عام 1963].

The Structure of Scientific Theories. Edited with a Critical Introd. by Frederick Suppe. Urbana, Ill: University of Illinois Press, [1974].

Subconscient intuition, et logique dans la recherche scientifique (Conference faite au Palais de Ia Découverte le 8 Décembre l945). Edited by Jacques Hadamard. [Alençon: n. pb., n. d.].

The Third (1959) University of Utah Research Conference on the Identification of Scientific Talent. Edited by C. Taylor. Salt Lake City: [University of Utah Press], 1959.

الفهرس

ـ أ ـ

ـ ب ـ

ـ ت ـ

ـ ث ـ

ـ ج ـ

ـ خ ـ

ـ د ـ

ـ ذ ـ

ـ ر ـ

ـ س ـ

- غ -

ـ ف ـ

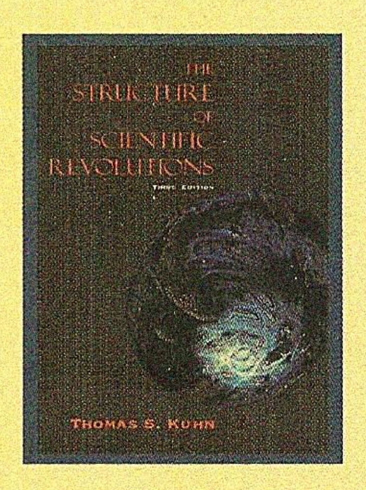
ـ ل ـ

ـ م ـ

- ن -



بُنيَة
الثورات العلمية



قيل عن هذا الكتاب إنه «أحد الكتب المئة الأكثر تأثيراً منذ الحرب العالمية الثانية»، وإنه مَعلَم بارز في تاريخ الفكر الذي جذب الانتباه بصورة تعدّت ميدانه المباشر... كُتب بمزيج من العمق والوضوح، ما جعل منه سلسلةً متصلةً من الأقوال المأثورة تقريباً... وقيل عنه إنه «أفضل شرح لعملية الاكتشاف العلمي»، وإنه، على الرغم من عمقه، «يتوجّه إلى عقول الفئات المختلفة وذوي الخلفيات المختلفة».

والقارئ العربي الذي يسعى إلى فهم تطوّر الأفكار، فهماً علمياً، ويثير التساؤلات حول التراكم والقطيعة في تناوله التغييرَ الثقافي أو المعرفي يحتاج، بلا شك، إلى قراءة هذا الكتاب وإلى التوقّفِ، بوجه خاص، عند مفهوم «البراديغم» الذي بناه كُون وشاع استعماله.

- **توماس كُون** (1922-1996): كان أستاذاً فخرياً للسانيات والفلسفة في Massachusetts Institute of Technology. من مؤلفاته: *The Essential Tension*; *Black - Body Theory and the Quantum Discontinuity, 1894 - 1912*, and *Copernican Revolution.*

- **حيدر حاج اسماعيل**: أستاذ الفلسفة الغربية في جامعة بيروت العربية والجامعة الأميركية للعلوم والتكنولوجيا في بيروت.

- أصول المعرفة العلمية
- ثقافة علمية معاصرة
- فلسفة
- علوم إنسانية واجتماعية
- تقنيات وعلوم تطبيقية
- آداب وفنون
- لسانيات ومعاجم





المنظمة العربية للترجمة

الثمن: 12 دولاراً
أو ما يعادلها

ISBN 978-9953-0-0962-9

